

## 변온 저장 중 초고압 처리와 Micro-perforated Film 포장 병용이 김치속의 품질에 미치는 영향

이정현 · 최은지<sup>1</sup> · 장지윤<sup>1</sup> · 천호현<sup>1\*</sup>

충남대학교 식품공학과, <sup>1</sup>세계김치연구소 신공정발효연구단

### Combined Effects of High Hydrostatic Pressure Treatment and Micro-Perforated Film Packaging on the Quality of Kimchi Sauce Stored Under Fluctuating Temperature Conditions

Jeong Hyeon Lee, Eun Ji Choi<sup>1</sup>, Ji Yoon Chang<sup>1</sup>, and Ho Hyun Chun<sup>1\*</sup>

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

<sup>1</sup>Advanced Process Technology and Fermentation Research Group, World Institute of Kimchi

#### Abstract

This study examined the combined effects of high hydrostatic pressure (HHP) and micro-perforated (MP) film packaging on the microbiological and physicochemical qualities of kimchi sauce stored under fluctuating temperature conditions. Before storage, treatment with 600 MPa HHP reduced the total lactic acid bacteria in the sauce samples to below the detection limit (1 log CFU/g). After 68-day storage, ten microbial strains isolated from the non-treated controls were identified as *Pediococcus pentosaceus*, whereas eight microbial strains isolated from the HHP-treated samples were identified as *Bacillus* spp., regardless of the packaging type. Additionally, the samples treated with HHP and packaged in a multilayer film bag (ML-HPP), as well as those in the MP-HHP group, exhibited higher pH values and reduced sugar content than the ML-control or MP-control after 68-day storage. No significant differences were observed between the control and treatment groups regarding their electrical conductivity, salinity, and CIE  $a^*$  values at the end of storage. However, there was no O<sub>2</sub> reduction or CO<sub>2</sub> accumulation in the MP-HHP group after 68-day storage. These results indicate that the combination of HHP treatment and MP-film packaging can extend the kimchi sauce's shelf life without packaging expansion during long-term storage.

**Key words:** kimchi sauce, high hydrostatic pressure, packaging, quality, storage

## 서 론

식품공전 상 김치류는 배추 등 채소류를 주원료로 하여 절임, 양념 혼합공정을 거쳐 그대로 또는 발효시켜 가공한 김치와 김치를 제조하기 위해 사용하는 김치속으로 정의한다. 김치 양념 또는 양념소로 불리는 김치속은 일반적으로 고춧가루, 무, 양파, 마늘, 찹쌀풀, 액젓, 파, 새우젓, 생강, 소금, 설탕 등을 혼합하여 제조하지만 김치 종류, 지역, 계절과 가정이나 김치 가공업체 레시피에 따라 매우 다양하다(Hongu et al., 2017). 또한 김치속의 구성 성분 비율과 미생물 분포 특성은 김치의 맛과 발효 양상에 큰 영향을

미친다(Park et al., 2012). 과거 김장에 필요한 김치속은 가정에서 직접 제조하여 사용하였지만 현재는 김치산업체에서 생산한 제품을 구매하는 비율이 점차 증가하고 있다(Cheon et al., 2017). 2017년 11월 한국농촌경제연구원에서 발간한 ‘2017년 김장 의향 및 김장 채소 수급 전망’에 따르면 국내에서 가을철 김치를 직접 담그는 가구가 2013년 56%에서 2017년 65%로 증가하였으며 가정에서 직접 담그는 이유 중 “김치속 상품 구매로 인해 김장하기 편리해졌다.” 의견이 포함되었다.

김치가공업체에서 대량으로 생산하는 김치속의 경우 제조공정 중 채소류 박피와 세척 외 살균 공정이 마련되어 있지 않기 때문에 위해 미생물 오염 등과 같은 안전성 문제가 제기될 수 있다(Chang & Chang, 2010). 최근 시판 김치속 제품들의 미생물 오염도를 분석한 결과 대장균군은 1.0-4.6 log CFU/g 수준으로 나타났으며 일부는 대장균이 검출되었다(Cheon et al., 2017). 한편 소비자들은 가정용 냉장기에 김치속을 장기간 보관 시에도 미발효 상태의 품

\*Corresponding author: Ho Hyun Chun, Advanced Process Technology and Fermentation Research Group, World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Korea.

Tel: +82-62-610-1761; Fax: +82-62-610-1850

E-mail: hhchun@wikim.re.kr

Received September 3, 2020; revised October 6, 2020; accepted October 12, 2020

질 유지를 기대한다. 그러나 보관 중 냉장고 문의 잦은 개폐와 부적절한 온도 관리는 김치속의 이상 발효(heterofermentation) 증가에 의한 밀폐형 포장 용기 팽창과 신맛 증가 또는 이취 발생 등 품질 변화를 일으켜 상품성을 떨어뜨린다(Hong et al., 2006). 따라서 김치속의 안정적인 품질 유지와 미생물학적 안전성을 증대시키기 위한 포장 방법과 살균 공정 개발 연구가 필요하다.

초고압 기술은 압력 매체로서 물 또는 오일이 채워진 용기(vessel) 내부에 100-800 MPa 압력을 일정 시간 가하여 식품의 미생물 제어를 통한 저장성 향상, 압력에 의한 물성 변화 또는 효소 불활성화를 목적으로 이용하고 있다(O'Neill et al., 2019). 특히 초고압 처리 시 식품의 영양 성분이나 향미 보존 등 화학적 특성은 유지할 수 있으며 포장 후 살균처리가 가능한 장점이 있다(Júnior et al., 2020). 식품산업에서 초고압 기술은 압력 전달이 용이한 액상 식품(잼이나 과채 음료) 가공에 최초 상용화되었으며 2,000년대 이후부터 초고압 가공 연구는 천연과 건강을 지향하는 소비자 요구에 맞춰 보존료 무첨가 또는 clean label 육가공품, 즉석섭취식품, 스낵 등으로 확대하여 왔다(Jacobo-Velázquez & Hernández-Brenes, 2012; Li & Gänzle, 2016; Moussa-Ayoub et al, 2017).

Micro-perforated (MP) film은 미세 열침 또는 냉침, 유압식 다이아몬드를 압착, UV/CO<sub>2</sub> laser로 포장재 표면에 0.05-0.2 mm 크기의 천공을 형성시킨 기능성 포장재로서 식품별 특성과 저장 목적에 맞게 천공의 크기, 개수, 모양 및 간격의 조절이 가능한 장점이 있다(Sohn et al, 2008; Hussein et al, 2015; Kim & Seo, 2018). 특히 MP-film은 기체 투과도가 우수하여 호흡이 활발한 신선 과채류의 저장 및 유통 중 중량 손실 억제와 CO<sub>2</sub> 또는 ethylene 축적 방지에 이용되어왔다(Lucera et al, 2011; Hussein et al, 2015).

국내에서는 솔잎, 녹차와 송화 분말 첨가 김치속의 저장 중 품질 변화(Na & Park, 2003), 반건조 고추와 마늘 paste 첨가 비율에 따른 김치속의 품질 변화(Seong et al, 2019), 김치속이 김치 발효에 미치는 영향(Yun et al, 2014), 시판 김치속의 품질 특성(Cheon et al, 2017)과 전자선 조사를 이용한 김치속의 품질 유지기한 연장(Cheon et al, 2016)에 관한 연구가 수행되었다. 그러나 초고압 비열처리와 기능성 포장을 병용한 김치속의 장기 저장 연구는 현재까지 수행된 바 없다.

따라서 본 연구는 장기 저장 중 초고압 처리와 MP-film 포장의 병용 및 저장 중 온도 변화가 김치속의 이화학적 및 미생물학적 품질과 포장 내부 가스 농도 변화에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구에서는 광주광역시 소재의 김치가공업체에서 당일 제조한 김치속을 구입하여 시료로 사용하였다. 김치속 원료 및 구성 비율은 고춧가루(26.6%), 찹쌀풀(19.5%), 멸치액젓(16.0%), 새우젓(8.0%), 다진 마늘(7.1%), 대파(7.1%), 무즙(5.3%), 사과즙(3.5%), 소금(3.5%), 다시마 육수(1.6%), 다진 생강(0.9%)과 설탕(0.9%)이다.

### 초고압 처리

초고압 처리는 pilot-scale high hydrostatic pressure (HHP) system (R-SCS SW, ChemRe SYStem Inc., Anyang, Korea)을 이용하였다. HHP system은 6 L 용량의 vessel과 water jacket 형태의 냉각기가 설치되어 있으며 최대 작동 압력은 600 MPa이다. Vessel 내부의 압력 전달 유체는 2-ethylhexyl sebacate oil (Maxifluid, Maximator GmbH, Nordhausen, Germany)이 사용되었으며 가압 속도는 약 100±3 MPa/min이었다. 김치속 시료는 laminated film vacuum bag (nylon/polyethylene, CSE Co., Siheung, Korea)을 이용하여 진공 포장 후 600 MPa의 압력으로 5분 동안 처리하였으며 해압(depressurization)은 2분 이내에 이루어졌다.

### 포장 및 변온 저장 조건

초고압 처리 후 김치속 시료는 clean bench에서 multi-layer (ML) film bag (polyethylene terephthalate/aluminum/polyethylene, 130×200 mm, 0.1 mL O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·day·atm, Pack4U Co., Seoul, Korea)과 MP-film bag (130×200 mm, 5,000 mL O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·day·atm, GQGONE Co., Gimhae, Korea)에 150 g씩 각각 옮겨 담은 후 밀봉하였다. 특히 MP-film bag은 기체 투과도를 높이기 위하여 내측의 pegmatite 분말 혼합 low-density polyethylene film과 외측의 미세천공 적층 film (polyethylene terephthalate/aluminum/low-density polyethylene,  $\Phi$ : 0.005-0.2 mm×49 holes/100 cm<sup>2</sup>)을 부분 합치하여 제작하였다. 장기 저장 중 저장 온도 변화가 김치속의 미생물학적 및 이화학적 품질 특성에 미치는 영향 분석을 위한 모의 변온 저장 시험 조건으로 포장된 김치속 시료는 냉장 기준 최저온도인 0±1°C에서 60일간 저장하였으며 이후 8일간 20±1°C 상온에 저장하였다.

### 김치속의 미생물 수 분석

변온 저장 중 김치속의 미생물 수 측정을 위해 시료 20 g과 0.85% 멸균 생리식염수 180 mL는 멸균 stomacher bag에 넣은 후 stomacher (Bagmixer R400, Interscience Inc., Saint Nom, France)를 이용해 3분간 균질화하였다. 균질 용액을 0.85% 멸균 생리식염수로 10배수 연속 희석한 후

희석액 1 mL는 각각의 배지에 분주하였다. 총 호기성 세균은 plate count agar (PCA, BD/Difco., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 48시간 배양 후 형성된 집락을 계수하였다. 총 유산균은 de Man, Rogosa and Sharpe agar (MRS, BD/Difco., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 48시간 혐기배양 후 형성된 황색 집락을 계수하였다. 대장균군은 Petrifilm CC (Petrifilm CC, 3M Co., St. Paul, MN, USA)를 사용하여 37°C에서 24시간 배양한 후 기포가 생성된 붉은 집락을 계수하였다. 검출된 미생물 수는 colony forming unit per gram (CFU/g)으로 나타내었다.

저장 초기와 말기 김치속에 존재하는 호기성 세균의 동정  
저장 0, 60과 68일 후 대조구와 초고압 처리구 김치속 시료로부터 총 호기성 세균 계수에 사용된 PCA plate에 성장한 단일 colony를 처리구별 5종씩 확보하였다. 분리된 균주의 16S rRNA 유전자는 universal primer인 27F (5'-AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG-3')과 1492R (5'-TAC GGY TAC CTT GTT ACG ACT T-3')를 사용하여 PCR을 진행하였다. PCR 조건은 90°C에서 5분간 변성 후, 95°C에서 30초, 55°C에서 120초, 68°C에서 90초를 30번 반복 반응한 후 마지막으로 68°C에서 10분간 반응시켰다. 유전자 증폭 산물은 1.5% agarose gel에서 20분간 전기영동하여 band를 확인한 후 Montage PCR Cleanup Kit (Millipore Co., Bedford, MA, USA)를 이용하여 정제하였다. 정제된 16S rRNA의 염기서열 분석은 (주)마크로젠 (Macrogen, Daejeon, Korea)에 의뢰하였으며 분석된 염기서열은 National Center for Biotechnology Information (NCBI) BLAST 자료와 비교하여 99% 이상의 유사도를 보일 때 특정한 과, 속 및 종으로 동정하였다.

저장 중 김치속의 이화학적 품질 분석

김치속의 pH와 전기전도도는 multiparameter benchtop meter (Orion VERSA STAR 90, Thermo Fisher Scientific Inc., Chelmsford, MA, USA)에 장착한 pH 전극(Orion 8157BNUMD ROSS Ultra pH/ATC Triode, Thermo Fisher Scientific Inc., Chelmsford, MA, USA)과 전기전도도 전극(Orion 013005MD Conductivity Cell, Thermo Fisher Scientific Inc., Chelmsford, MA, USA)을 이용하여 실온에서 측정하였다.

환원당 함량은 dinitrosalicylic acid (DNS) 방법에 따라 측정하였다(Miller, 1959). 시료를 1차 증류수로 50배 희석 후 희석한 시료 용액 1 mL는 DNS 시약 3 mL와 혼합하여 100°C water bath에서 5분 동안 중탕시켰다. 중탕 완료 후 시료-DNS 혼합 용액은 실온에서 충분히 냉각시킨 다음 증류수 16 mL를 가하여 희석한 후 분광광도계(UV-1800, Shimadzu Scientific Instruments Inc., Columbia, MD, USA)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량선

은 표준물질로서 glucose (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 농도별로 DNS 시약과 반응시켜 작성하였으며 환원당 함량은 mg/g으로 나타냈다.

김치속의 염도는 Mohr's titration 방법에 따라 분석하였다(AOAC, 2005). 1차 증류수로 100배 희석한 시료 용액 10 mL에 지시약 2% potassium chromate 용액 1 mL을 가한 후 혼합 용액이 적갈색이 될 때까지 0.02 N AgNO<sub>3</sub> 용액으로 적정하였다. 염도(%)는 0.02 N AgNO<sub>3</sub>의 소비량을 통해 계산하였다.

김치속의 CIE redness (a\*) 값은 시료 20 g을 원형 cell에 옮겨 담은 후 표준백반(X=0.3163, Y=88.5, Z=0.3233)으로 보정된 색차계(CR-400, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 각 시료의 표면을 무작위로 5회 이상 반복 측정하였다.

저장 중 포장 내부 headspace 가스 농도 분석

변은 저장 중 김치속 ML-film bag과 MP-film bag 내부 headspace의 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도(%) 변화는 포장재 표면에 septum을 부착한 후 headspace gas analyzer (Checkpoint 3 premium, Dansensor, Ringsted, Denmark)를 이용하여 측정하였다.

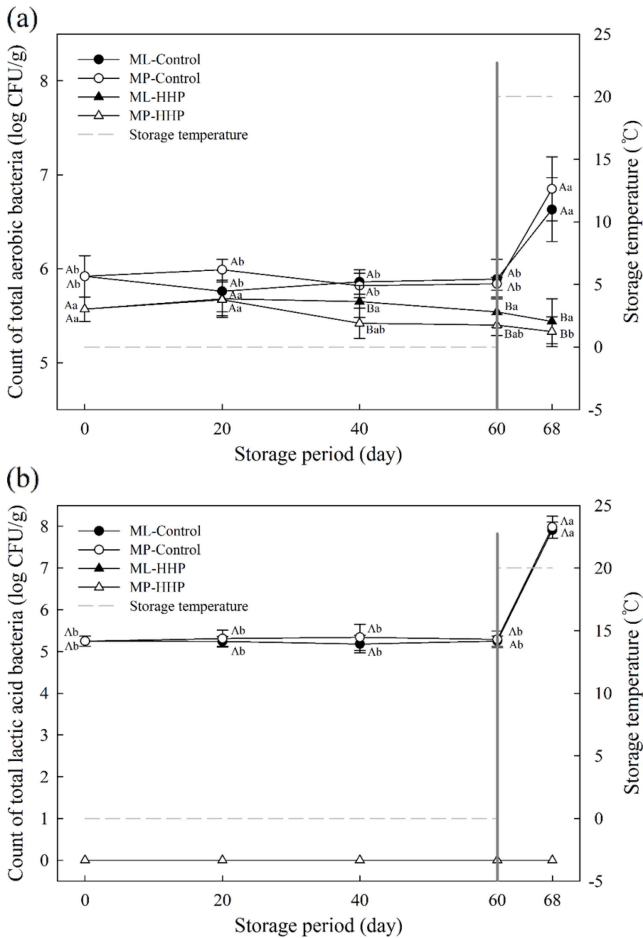
통계처리

모든 실험 결과는 3회 이상 반복 분석하여 평균값±표준편차로 나타냈다. 결과에 대한 유의성 통계분석은 SPSS (Statistical Package for the Social Science, Version 19, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software program을 사용하여 one-way analysis of variance test (ANOVA)를 실시하였고 유의성 검정은 p<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test로 행하였다.

결과 및 고찰

저장 중 김치속의 미생물 수 변화

초고압 처리 후 ML-film bag과 MP-film bag에 각각 포장한 김치속의 변은 저장 중 미생물 수 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 저장 초기 김치속의 총 호기성 세균 수는 5.92 log CFU/g이었으며 0°C에서 60일간 저장 후 ML-대조구와 MP-대조구의 총 호기성 세균 수는 5.89와 5.84 log CFU/g으로 저장 초기와 유의적인(p>0.05) 차이를 보이지 않았다. 저온 저장 60일 이후 20°C에서 8일간 상온 저장은 ML-대조구와 MP-대조구의 총 호기성 세균 수를 6.63과 6.85 log CFU/g까지 증가시켰다. 반면 저장 68일 후 ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구의 총 호기성 세균 수는 각각 5.44와 5.33 log CFU/g으로 ML-대조구 또는 MP-대조구와 비교하여 유의적으로(p<0.05) 낮은 수준을 유지하였다. 저장 초기 김치속의 총 유산균 수는



**Fig. 1.** Change, during storage for 68 days, in the counts (log CFU/g) of total aerobic bacteria (a) and total lactic acid bacteria (b) in kimchi sauces treated with high hydrostatic pressure at 600 MPa. Means with different uppercase letters (A and B) differ significantly ( $p < 0.05$ ) for the same storage day among treatments. Means with different lowercase letters (a and b) differ significantly ( $p < 0.05$ ) for the same treatments within different storage days.

5.25 log CFU/g이었다. 600 MPa 초고압 처리는 총 유산균 수를 검출한계(1 log CFU/g) 미만까지 감소시켰으며 저장 68일까지 포장 형태와 관계없이 초고압 처리구에서 총 유산균은 검출되지 않았다. 한편 저장 60일 이후 20°C에서 8일간 상온 저장은 ML-대조구와 MP-대조구의 총 유산균 수를 7.91과 7.98 log CFU/g까지 각각 증가시켰다. 600 MPa 초고압 처리 직후 김치속의 대장균 수를 검출한계(1 log CFU/g) 미만까지 감소하였으며 변은 저장 68일 동안 ML-초고압과 MP-초고압 처리구의 대장균은 불검출되었다(data not shown).

한편 본 연구에서 600 MPa 초고압 5분 처리에 따른 김치속 총 호기성 세균 수의 0.5 log cycle 미만 감소한 결과는 550 MPa 초고압 5분 처리로 숙성된 절임무의 총 호기성 세균 수를 5.57 log cycle 감소시켰다는 Bao et al. (2016)의 보고와 차이를 보였다. Buerman et al. (2020)은

450과 600 MPa 초고압 처리에 따른 사과 주스에 집중된 효모와 곰팡이 수의 감소 효과는 Aw 0.94-0.96과 pH 7.0 시료에 비해 Aw 0.98 이상과 pH 4.6인 시료에서 높게 나타났다라고 보고하였다. 선행 연구와 본 연구 결과를 종합하면 초고압에 의한 미생물 불활성 효과는 식품의 물리적 형태와 화학적 특성, 초기 미생물 오염 수준 및 초고압 환경 노출에 대한 미생물 종류별 감수성에 따라 차이가 있다. 또한 Peñas et al. (2010)은 300 MPa 초고압 처리가 0.5와 1.5% NaCl 용액을 이용하여 자연 발효된 sauerkraut의 호기성 세균과 유산균 수를 6.07-6.24 log CFU/g에서 1.66-2.03 log CFU/g으로 감소시켰으며 4°C에서 3개월간 저장 중 초고압 처리한 sauerkraut의 호기성 세균과 유산균 증식은 대조구와 비교하여 억제되었다고 보고하였다. 본 연구 결과 초고압 처리와 0°C 저온 저장의 병합은 김치속에 존재하는 유산균과 대장균의 불활성화 및 저장 중 증식 억제에 효과적인 방법이라고 판단된다.

저장 초기와 말기 김치속에서 분리한 호기성 세균 동정

저장 기간에 따른 김치속 우점 호기성 세균 변화를 살펴 보기 위해 저장 초기 및 저장 60과 68일 후 대조구와 초고압 처리구 시료로부터 분리한 균주들을 동정한 결과는 Table 1에 나타났다. 저장 초기 ML-대조구와 MP-대조구로부터 분리한 총 10개 균주는 *Bacillus* 속으로 동정되었으며 ML-초고압과 MP-초고압 처리구로부터 분리한 총 10개 균주도 *Bacillus* 속으로 동정되었다. 저장 68일 후 ML-대조구와 MP-대조구로부터 분리한 총 10개 균주는 *Pediococcus pentosaceus*로 동정되었다. 이는 변은 저장 기간 동안 발효에 의해 대조구 김치속 시료의 호기성 세균 분포 변화가 있었음을 의미한다. 김치 발효에 있어 *Pediococcus* 속은 *Lactobacillus* 속 생육 전에 우세하게 존재하는 유산균으로서 pediocin을 생성하여 *Bacillus* 속과 *Staphylococcus* 속 등 부패 미생물의 성장을 억제한다(Jang et al., 2014).

반면 저장 68일 후 ML-초고압 처리구로부터 분리한 5개 균주는 *Staphylococcus* 속, *Bacillus* 속과 *Micrococcus* 속으로 각각 동정되었으며 MP-초고압 처리구로부터 분리한 5개 균주는 모두 *Bacillus* 속으로 나타나 ML-초고압 처리구와 다소 차이를 보였다. 이러한 결과를 통해 저장 전 600 MPa 초고압 처리에 의한 김치속의 유산균 불활성화가 변은 저장 68일 동안 김치속 발효 억제에 영향을 미친 것으로 보인다. *Bacillus licheniformis*, *Staphylococcus epidermidis*와 *Micrococcus luteus*는 물 또는 토양 유래 미생물로 알려져 있으며 별도의 살균 공정이 없이 제조하는 김치속의 원부재료인 고춧가루, 무, 양파, 파 또는 생강 등으로부터 유입한 것으로 판단된다.

본 연구에서 수행한 초고압 처리에 따른 저장 중 김치속 호기성 세균의 16S rRNA sequence 분석 결과를 토대로,

**Table 1. Identification, at 0, 60, and 68 days of storage, of strains isolated from kimchi sauces treated with high hydrostatic pressure and from non-treated control samples**

Treatment	Strain number	Storage period (day)		
		0	60	68
ML-Control <sup>1)</sup>	MLC-1	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MLC-2	<i>Bacillus velezensis</i>	<i>Bacillus velezensis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MLC-3	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MLC-4	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MLC-5	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
MP-Control <sup>2)</sup>	MPC-1	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MPC-2	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MPC-3	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MPC-4	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
	MPC-5	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
ML-HHP <sup>3)</sup>	MLH-1	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Staphylococcus epidermidis</i>
	MLH-2	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
	MLH-3	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
	MLH-4	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
	MLH-5	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Micrococcus luteus</i>
MP-HHP <sup>4)</sup>	MLC-1	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus velezensis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
	MLC-2	<i>Bacillus velezensis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
	MLC-3	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus paralicheniformis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
	MLC-4	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
	MLC-5	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>	<i>Bacillus stratosphericus</i>

<sup>1)</sup>ML-Control, the control packaged in a multilayer film bag.

<sup>2)</sup>MP-Control, the control packaged in a micro-perforated film bag.

<sup>3)</sup>ML-HHP, high hydrostatic pressure-treated sample packaged in a multilayer film bag.

<sup>4)</sup>MP-HHP, high hydrostatic pressure-treated sample packaged in a micro-perforated film bag.

대사체 분석 기술을 이용하여 저장 온도에 따른 김치속 미생물 군집 차이 구명 연구와 초고압 처리의 *Bacillus* 속 제어 효과 향상을 위한 다른 물리적 또는 화학적 살균 기술 병합 연구가 추가적으로 필요하다.

**저장 중 김치속의 이화학적 품질 변화**

초고압 처리 후 ML-film 또는 MP-film bag에 포장한 김치속의 변은 저장 중 pH, 환원당, 전기전도도, 염도와 적색도 변화는 Table 2에 나타내었다. 0°C 저온 저장 60일 동안 ML-대조구와 MP-대조구의 pH는 5.80에서 5.53과 5.61로 각각 감소하였다. 또한 저온 저장 종료 후 8일간 20°C 상온 저장은 ML-대조구와 MP-대조구의 pH를 4.38과 4.07까지 각각 감소시켰다. 반면 저장 68일 후 ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구의 pH는 5.53과 5.56으로 각각 나타나 저장 초기와 유사하였다. 저장 중 김치류의 pH 감소는 유산균 발효로 인한 유기산 생성과 관련이 있다(Meng et al., 2015; Park, 2018). 본 연구에서 저장 전 600 MPa 초고압 처리가 김치속에 존재하는 유산균을 불활성화시켰기 때문에 변은 저장 중 김치속의 pH 변화가 작은 것으로 판단된다.

ML-대조구와 MP-대조구의 환원당 함량은 저장 기간이 경과함에 따라 유의적으로( $p < 0.05$ ) 감소하여 변은 저장 68

일 후 23.09와 22.65 mg/g으로 나타났다(Table 2). 반면 저장 68일 동안 ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구의 환원당 함량은 44.02-46.11과 43.25-46.39 mg/g 수준을 각각 유지하였으며 포장재 종류에 따른 유의적 차이는 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). Zheng et al. (2014)은 열처리 또는 초고압 처리한 litchi juice에 *Lactobacillus casei* 접종 후 발효한 결과 두 주스 시료의 총 당 함량이 발효 전에 비해 감소하였지만 초고압 처리한 juice가 열처리한 주스에 비해 높은 당 함량을 보였다고 보고하였다. Ye et al. (2019)은 유산균 접종 발효 후 broccoli puree의 유리당 함량이 233 mg/g에서 5-115 mg/g으로 감소하였는데 이러한 결과는 발효 중 puree에 존재하는 glucose, fructose와 sucrose가 유산균 에너지 대사에 이용되기 때문이라고 보고하였다. 이러한 연구 결과를 토대로 장기 저장 중 김치속의 품질 안정성을 판단할 때 김치속 내 잔존 환원당 함량은 품질 지표로 활용할 수 있다.

68일 변은 저장 중 ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구의 전기전도도와 염도는 43.76-46.11 mS/cm과 4.61-4.75%를 각각 유지하였으며 ML-대조구 또는 MP-대조구와 비교하여 유의적 차이( $p > 0.05$ )를 나타내지 않았다. Song et al. (2016)은 4°C에서 8주 저장 기간 동안 김치속의 염도가 3.70-3.93%로 일정하게 유지하였다고 보고하였다. 또

**Table 2.** Change, during storage for 68 days, in the pH, reducing sugar content (mg/g), electrical conductivity (mS/cm), salinity (%), and CIE a\* of kimchi sauces treated with high hydrostatic pressure at 600 MPa

Quality parameter	Treatment	Storage period (day)				
		0	20	40	60	68
pH	ML-Control <sup>1)</sup>	5.80±0.03 <sup>5)Aa6)</sup>	5.61±0.02 <sup>Cb</sup>	5.59±0.01 <sup>Bbc</sup>	5.53±0.03 <sup>Cc</sup>	4.38±0.08 <sup>Bd</sup>
	MP-Control <sup>2)</sup>	5.80±0.03 <sup>Aa</sup>	5.69±0.01 <sup>Ab</sup>	5.68±0.01 <sup>Ab</sup>	5.61±0.01 <sup>Bc</sup>	4.07±0.06 <sup>Cd</sup>
	ML-HHP <sup>3)</sup>	5.69±0.01 <sup>Ba</sup>	5.64±0.01 <sup>Bb</sup>	5.60±0.01 <sup>Bc</sup>	5.54±0.02 <sup>Cd</sup>	5.53±0.01 <sup>Ad</sup>
	MP-HHP <sup>4)</sup>	5.69±0.01 <sup>Ba</sup>	5.69±0.01 <sup>Aa</sup>	5.69±0.01 <sup>Aa</sup>	5.69±0.01 <sup>Aa</sup>	5.56±0.01 <sup>Ab</sup>
Reducing sugar content	ML-Control	46.51±0.62 <sup>Aa</sup>	45.27±3.21 <sup>Aa</sup>	38.61±1.75 <sup>Bb</sup>	35.79±1.55 <sup>Bb</sup>	23.09±1.53 <sup>Bc</sup>
	MP-Control	46.51±0.62 <sup>Aa</sup>	46.39±3.30 <sup>Aa</sup>	39.88±2.14 <sup>Bb</sup>	37.00±0.59 <sup>Bb</sup>	22.65±1.83 <sup>Bc</sup>
	ML-HHP	46.11±2.41 <sup>Aa</sup>	44.49±1.49 <sup>Aa</sup>	44.26±1.08 <sup>Aa</sup>	44.02±3.04 <sup>Aa</sup>	45.30±2.66 <sup>Aa</sup>
	MP-HHP	46.11±2.41 <sup>Aa</sup>	46.39±3.30 <sup>Aa</sup>	43.96±2.14 <sup>Aa</sup>	43.29±2.64 <sup>Aa</sup>	43.25±2.49 <sup>Aa</sup>
Electrical conductivity	ML-Control	43.76±0.95 <sup>Aa</sup>	43.54±1.00 <sup>Aa</sup>	43.72±2.82 <sup>Aa</sup>	43.24±0.20 <sup>Aa</sup>	45.62±2.31 <sup>Aa</sup>
	MP-Control	43.76±0.95 <sup>Aa</sup>	43.99±2.30 <sup>Aa</sup>	44.20±1.37 <sup>Aa</sup>	43.57±1.83 <sup>Aa</sup>	44.95±0.80 <sup>Aa</sup>
	ML-HHP	43.76±1.02 <sup>Aa</sup>	46.11±2.29 <sup>Aa</sup>	45.59±1.57 <sup>Aa</sup>	44.49±2.20 <sup>Aa</sup>	46.02±1.52 <sup>Aa</sup>
	MP-HHP	43.76±1.02 <sup>Aa</sup>	45.83±0.99 <sup>Aa</sup>	45.68±0.38 <sup>Aa</sup>	43.90±1.51 <sup>Aa</sup>	44.95±1.22 <sup>Aa</sup>
Salinity	ML-Control	4.60±0.05 <sup>Aa</sup>	4.66±0.07 <sup>Aa</sup>	4.64±0.06 <sup>Aa</sup>	4.64±0.10 <sup>Aa</sup>	4.68±0.08 <sup>Aa</sup>
	MP-Control	4.60±0.05 <sup>Aa</sup>	4.58±0.09 <sup>Aa</sup>	4.67±0.10 <sup>Aa</sup>	4.67±0.07 <sup>Aa</sup>	4.64±0.07 <sup>Aa</sup>
	ML-HHP	4.62±0.04 <sup>Aa</sup>	4.61±0.11 <sup>Aa</sup>	4.70±0.10 <sup>Aa</sup>	4.68±0.07 <sup>Aa</sup>	4.73±0.08 <sup>Aa</sup>
	MP-HHP	4.62±0.04 <sup>Aa</sup>	4.66±0.08 <sup>Aa</sup>	4.64±0.04 <sup>Aa</sup>	4.69±0.09 <sup>Aa</sup>	4.75±0.06 <sup>Aa</sup>
CIE a* (redness)	ML-Control	14.55±1.56 <sup>Aa</sup>	14.22±2.19 <sup>Aa</sup>	14.96±1.44 <sup>Aa</sup>	14.77±1.37 <sup>Aa</sup>	14.86±0.45 <sup>Aa</sup>
	MP-Control	14.55±1.56 <sup>Aa</sup>	14.51±1.45 <sup>Aa</sup>	15.06±1.68 <sup>Aa</sup>	14.64±0.86 <sup>Aa</sup>	15.86±1.13 <sup>Aa</sup>
	ML-HHP	14.85±1.34 <sup>Aa</sup>	15.07±1.23 <sup>Aa</sup>	15.35±0.98 <sup>Aa</sup>	15.31±0.68 <sup>Aa</sup>	14.07±1.33 <sup>Aa</sup>
	MP-HHP	14.85±1.34 <sup>Aa</sup>	14.77±1.54 <sup>Aa</sup>	14.98±1.21 <sup>Aa</sup>	15.32±0.61 <sup>Aa</sup>	13.91±0.84 <sup>Aa</sup>

<sup>1)</sup>ML-Control, the control packaged in a multilayer film bag.

<sup>2)</sup>MP-Control, the control packaged in a micro-perforated film bag.

<sup>3)</sup>ML-HHP, high hydrostatic pressure-treated sample packaged in a multilayer film bag.

<sup>4)</sup>MP-HHP, high hydrostatic pressure-treated sample packaged in a micro-perforated film bag.

<sup>5)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>6)</sup>Mean values in the same column (A-C) or row (a-d) followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p<0.05$ ).

한 Cheon et al. (2016)의 연구에서 4°C 저장 21일 동안 2-10 kGy 전자선 조사한 김치속의 염도가 저장 초기 수준을 유지하였다는 결과는 본 연구와 유사하였다.

김치속의 적색도는 소비자가 김치의 외관적 품질을 결정하는 중요한 요소이다(Cheon et al., 2016). 변온 저장 동안 ML-대조구, MP-대조구, ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구의 CIE a\* 값은 13.91-15.86으로 나타나 초고압 처리, 포장재 종류와 저장 온도는 김치속의 색 품질에 영향을 미치지 않았다. 초고압 비열처리는 식품의 색, 향과 영양 성분에 관여하는 공유 결합이나 수소 결합에 영향을 주지 않는다(de Oliveira et al., 2015). 100-400 MPa 초고압 15-30분 처리가 mango pulp의 CIE a\* 값에 영향을 미치지 않았다는 Ahmed et al. (2005)의 보고는 본 연구 결과와 유사하였다. 또한 Wang et al. (2015)은 500 MPa 초고압 처리 시 Chinese bayberry juice의 적색도 값이 일정하게 유지하였음을 보고하였다.

#### 저장 중 김치속 포장 내부 headspace 가스 농도 변화

저장 중 발효식품의 포장 내부 headspace 가스 농도는

발효 미생물 성장 속도, 저장 온도와 포장재의 통기성에 의해 결정된다(Lee & Yoo, 2017). 변온 저장 중 초고압 처리와 포장 film 종류에 따른 김치속 포장 내부 headspace O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도 변화는 Table 3에 나타내었다.

0°C 저온 저장 60일 후 ML-대조구의 O<sub>2</sub> 농도는 18.2%로 저장 초기 대비 약 2.6% 감소하였으며 특히 61-68일간 20°C 상온 저장은 ML-대조구의 O<sub>2</sub> 농도를 11.4%까지 급격히 감소시켰다. 또한 68일 후 ML-대조구의 CO<sub>2</sub> 농도는 27.9%까지 증가하였다. 반면 변온 저장 68일 후 ML-초고압 처리구의 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도는 각각 19.6과 2.1%로 ML-대조구와 비교하여 뚜렷한 차이를 보였다. 변온 저장 68일 동안 MP-초고압 처리구와 MP-대조구의 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도는 19.8-20.8%와 0.0-2.4% 수준을 각각 유지하였다. 김치류 저장 중 유산균 발효에 의해 젖산, 초산, 알코올과 CO<sub>2</sub>가 생성되며 포장 내부에 축적된 CO<sub>2</sub>는 포장의 팽창과 과숙 등 김치 상품성에 부정적인 영향을 미친다(Jeong et al., 2019). Cheon et al. (2016)은 김치속에 전자선을 조사 후 4°C에서 21일간 저장한 결과 김치속 pouch 포장 내부 headspace CO<sub>2</sub> 농도가 47.37%까지 증가하였다고 보고하였다.

**Table 3. Change, during storage for 68 days, in the O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations (%) in the headspace of packaged kimchi sauces treated with high hydrostatic pressure at 600 MPa**

	Treatment	Storage period (day)				
		0	20	40	60	68
O <sub>2</sub>	ML-Control <sup>1)</sup>	20.8±0.0 <sup>5)Aa6)</sup>	19.5±0.6 <sup>Bb</sup>	18.8±0.3 <sup>Bb</sup>	18.2±1.1 <sup>Bb</sup>	11.4±0.9 <sup>Bc</sup>
	MP-Control <sup>2)</sup>	20.8±0.0 <sup>Aa</sup>	20.6±0.1 <sup>Aa</sup>	20.6±0.1 <sup>Aa</sup>	20.6±0.1 <sup>Aa</sup>	19.8±0.6 <sup>Ab</sup>
	ML-HHP <sup>3)</sup>	20.8±0.0 <sup>Aa</sup>	20.6±0.2 <sup>Aa</sup>	20.2±0.6 <sup>Ab</sup>	19.8±0.2 <sup>Ab</sup>	19.6±0.5 <sup>Ab</sup>
	MP-HHP <sup>4)</sup>	20.8±0.0 <sup>Aa</sup>	20.6±0.1 <sup>Ab</sup>	20.6±0.1 <sup>Ab</sup>	20.6±0.1 <sup>Ab</sup>	20.6±0.1 <sup>Ab</sup>
CO <sub>2</sub>	ML-Control	0.0±0.0 <sup>Ad</sup>	1.4±0.8 <sup>Ac</sup>	2.5±0.2 <sup>Ab</sup>	3.1±0.1 <sup>Ab</sup>	27.9±0.4 <sup>Aa</sup>
	MP-Control	0.0±0.0 <sup>Ac</sup>	0.1±0.1 <sup>Bbc</sup>	0.3±0.1 <sup>Bb</sup>	0.3±0.1 <sup>Bb</sup>	2.4±0.2 <sup>Ba</sup>
	ML-HHP	0.0±0.0 <sup>Ac</sup>	0.1±0.1 <sup>Bc</sup>	0.4±0.1 <sup>Bb</sup>	0.5±0.2 <sup>Bb</sup>	2.1±0.2 <sup>Ba</sup>
	MP-HHP	0.0±0.0 <sup>Aa</sup>	0.1±0.1 <sup>Ba</sup>	0.1±0.1 <sup>Ca</sup>	0.1±0.1 <sup>Ca</sup>	0.1±0.1 <sup>Ca</sup>

<sup>1)</sup>ML-Control, the control packaged in a multilayer film bag.

<sup>2)</sup>MP-Control, the control packaged in a micro-perforated film bag.

<sup>3)</sup>ML-HHP, high hydrostatic pressure-treated sample packaged in a multilayer film bag.

<sup>4)</sup>MP-HHP, high hydrostatic pressure-treated sample packaged in a micro-perforated film bag.

<sup>5)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>6)</sup>Mean values in the same column (A and B) or row (a-d) followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

따라서 600 MPa 초고압 처리, MP-film 포장과 0°C 저온 저장의 병합 적용은 김치속에 존재하는 유산균 생육과 포장 내부 가스 농도 변화 억제에 효과를 나타내는 것으로 판단된다.

### 요 약

본 연구는 변온 저장 68일 동안 초고압 처리와 MP-film 포장의 병합이 김치속의 이화학적 및 미생물학적 품질과 포장 내부 가스 농도 변화에 미치는 영향을 분석하였다. ML-대조구와 MP-대조구의 총 호기 세균 수는 0°C 저온 저장 60일 동안 저장 초기와 유의적인 차이를 보이지 않았지만 이후 20°C에서 8일간 상온 저장에서 6.63과 6.85 log CFU/g까지 각각 증가하였다. 반면 변온 저장 68일 후 ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구의 총 호기성 세균 수는 각각 5.44와 5.33 log CFU/g으로 나타나 저장 중 초고압 처리에 의한 총 호기성 세균 생육 억제 효과가 관찰되었다. 저장 전 600 MPa 초고압 처리는 김치속의 총 유산균과 대장균군 수를 처리검출한계(1 log CFU/g) 미만까지 감소시켰으며 변온 저장 68일 동안 초고압 처리에 따른 유산균과 대장균군 감소 효과는 유지되었다. 한편 저장 68일 후 대조구로부터 분리한 총 10개 균주는 *Pediococcus* 속으로 동정된 반면 초고압 처리구로부터 분리한 총 10개 균주 중 8개 균주가 *Bacillus* 속으로 나타나 대조구와 뚜렷한 차이를 보였다. ML-대조구와 MP-대조구의 pH는 저장 68일 후 4.38과 4.07까지 감소한 반면 ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구는 5.53과 5.56으로 각각 나타났다. ML-대조구와 MP-대조구의 환원당 함량은 저장 기간이 경과함에 따라 유의적으로 감소하였지만 ML-초고압 처리구와 MP-초고압 처리구는 저장 초기 수준을 유지하였다. 한

편 김치속의 전기전도도, 염도와 CIE a\* 값의 경우 초고압 처리, 포장재 종류 및 저장 기간에 따른 유의적 차이가 관찰되지 않았다. 변온 저장 68일 후 ML-대조구 포장 내부 headspace O<sub>2</sub> 농도는 11.4%까지 감소하였으며 CO<sub>2</sub> 농도는 27.9%까지 증가하였다. 반면 MP-초고압 처리구의 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도는 각각 20.6과 0.1%로 저장 초기 수준을 유지하였다. 본 연구 결과 600 MPa 초고압 처리와 MP-film 포장의 병합 적용은 김치속에 존재하는 초기 유산균과 대장균군 감소 및 생육 억제, 김치속의 이화학적 품질 유지와 더불어 포장재 팽창 억제에 효과를 나타냈다.

### 감사의 글

본 연구는 세계김치연구소 기관고유사업(KE2002-1)의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### References

Ahmed J, Ramaswamy HS, Hiremath N. 2005. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *Int. J. Food Sci. Technol.* 40: 885-895.

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis 18th ed. Method 937. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.

Bao R, Fan A, Hu X, Liao X, Chen F. 2016. Effects of high pressure processing on the quality of pickled radish during refrigerated storage. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 38: 206-212.

Buerman EC, Worobo RW, Padilla-Zakour OI. 2020. High pressure processing of spoilage fungi as affected by water activity in a diluted apple juice concentrate. *Food Control.* 107: 106779.

Chang JY, Chang HC. 2010. Improvements in the quality and shelf life of kimchi by fermentation with the induced bacterio-

- cin-producing strain, *Leuconostoc citreum* GJ7 as a starter. J. Food Sci. 75: M103-M110.
- Cheon SH, Lee SI, Hwnag IM, Seo HY. 2017. Quality characteristics of commercial kimchi paste. Korean J. Food Cook Sci. 33: 9-19.
- Cheon SH, Seo HY, Chung YB, Chun HH. 2016. Effects of electron beam irradiation on microbial inactivation and quality of kimchi paste during storage. Int. J. Food Sci. Technol. 51: 470-479.
- de Oliveira TLC, Ramos AL, Ramos EM, Piccoli RH, Cristianini M. 2015. Natural antimicrobials as additional hurdles to preservation of foods by high pressure processing. Trends Food Sci. Technol. 45: 60-85.
- Hong JJ, Cheigh HS, Lee DS. 2006. Quality characteristics of canned kimchi prepared by minimal thermal processing. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 35: 754-760.
- Hongu N, Kim AS, Suzuki A, Wilson H, Tsui KC, Park SM. 2017. Korean kimchi: promoting healthy meals through cultural tradition. J. Ethn. Foods. 4: 172-180.
- Hussein Z, Caleb OJ, Jacobs K, Manley M, Opara UL. 2015. Effect of perforation-mediated modified atmosphere packaging and storage duration on physicochemical properties and microbial quality of fresh minimally processed 'Acco' pomegranate arils. LWT-Food Sci. Technol. 64: 911-918.
- Jacobo-Velázquez DA, Hernández-Brenes C. 2012. Stability of avocado paste carotenoids as affected by high hydrostatic pressure processing and storage. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 16: 121-128.
- Jang SH, Lee JY, Jung US, Choi HS, Suh HJ. 2014. Identification of an anti-listerial domain from *Pediococcus pentosaceus* T1 derived from Kimchi, a traditional fermented vegetable. Food Control. 43: 42-48.
- Jeong SY, Lee HG, Lee JS, Yoo SR. 2019. Critical review on active technologies to regulate the levels of carbon dioxide and oxygen for kimchi packaging. J. Korean Soc. Food Cult. 34: 233-239.
- Júnior LM, de Oliveira LM, Dantas FBH, Cristianini M, Padula M, Anjos CAR. 2020. Influence of high-pressure processing on morphological, thermal and mechanical properties of retort and metallized flexible packaging. J. Food Eng. 273: 109812.
- Kim DW, Seo JC. 2018. A review: Breathable films for packaging applications. Trends. Food Sci Technol. 76: 15-27.
- Lee HG, Yoo SR. 2017. Use of laser-etched pouches to control the volume expansion of kimchi packages during distribution: Impact of packaging and storage on quality characteristics. J. Food Sci. 82: 1876-1884.
- Li H, Gänzle M. 2016. Effect of hydrostatic pressure and antimicrobials on survival of *Listeria monocytogenes* and enterohaemorrhagic *Escherichia coli* in beef. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 38: 321-327.
- Lucera A, Costa C, Mastromatteo M, Conte A, Del Nobile MA. 2011. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties. J. Food Eng. 102: 122-129.
- Meng X, Lee KH, Kang TY, Ko SH. 2015. An irreversible ripeness indicator to monitor the CO<sub>2</sub> concentration in the headspace of packaged kimchi during storage. Food. Sci. Biotechnol. 24: 91-97.
- Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem. 31: 426-428.
- Moussa-Ayoub TE, Jäger H, Knorr D, El-Samahy SK, Kroh LW, Rohn S. 2017. Impact of pulsed electric fields, high hydrostatic pressure, and thermal pasteurization on selected characteristics of *Opuntia dillenii* cactus juice. LWT-Food Sci. Technol. 79: 534-542.
- Na YA, Park JN. 2003. Effect of dried powders of pine needle, pine pollen, green tea and horseradish on preservation of Kimchi-yangnyum. Culi. Sci. Hos. Res. 9: 179-190.
- O'Neill CM, Cruz-Romero MC, Duffy G, Kerry JP. 2019. Improving marinade absorption and shelf life of vacuum packed marinated pork chops through the application of high pressure processing as a hurdle. Food Packag. Shelf Life 21: 100350.
- Park DH. 2018. Effects of carbon dioxide on metabolite production and bacterial communities during kimchi fermentation. Biosci. Biotech. Biochem. 82: 1234-1242.
- Park EJ, Chun J, Cha CJ, Park WS, Jeon CO, Bae JW. 2012. Bacterial community analysis during fermentation of ten representative kinds of kimchi with barcoded pyrosequencing. Food Microbiol. 30: 197-204.
- Peñas E, Frias J, Gomez R, Vidal-Valverde C. 2010. High hydrostatic pressure can improve the microbial quality of sauerkraut during storage. Food Control. 21: 524-528.
- Seong JM, Ryu HS, Kim OS. 2019. Optimization of kimchi seasoning with different amounts of semi-dry pepper and garlic paste. J. East Asian Soc. Diet Life. 29: 253-266.
- Sohn IB, Noh YC, Choi SC, Ko DK, Lee JM, Choi YJ. 2008. Femtosecond laser ablation of polypropylene for breathable film. Appl. Surf Sci. 254: 4919-4924.
- Song HY, Cheon SH, Yoo SR, Chung YB, Seo HY. 2016. Changes in quality characteristics of salted Kimchi cabbage and kimchi paste during storage. Korean J. Food Preserv. Biotechnol. 23: 459-470.
- Wang C, Lin Y, Ramaswamy HS, Ge L, Hu F, Zhu S, Yu Y. 2015. Storage stability of Chinese bayberry juice after high pressure or thermal treatment. J. Food Process Preserv. 39: 2259-2266.
- Ye JH, Huang LY, Terefe NS, Augustin MA. 2019. Fermentation-based biotransformation of glucosinolates, phenolics and sugars in retorted broccoli puree by lactic acid bacteria. Food Chem. 286: 616-623.
- Yun JY, Jeong JK, Moon SH, Park KY. 2014. Effects of brined baechu cabbage and seasoning on fermentation of kimchi. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 43: 1081-1087.
- Zheng X, Yu Y, Xiao G, Xu Y, Wu J, Tang D, Zhang Y. 2014. Comparing product stability of probiotic beverages using litchi juice treated by high hydrostatic pressure and heat as substrates. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 23: 61-67.

## Author Information

이정현: 세계김치연구소 신공정발효연구단 학생연구원, 충남대학교 식품공학과 대학원생 (석사과정)  
 최은지: 세계김치연구소 신공정발효연구단 전임연구원  
 장지윤: 세계김치연구소 신공정발효연구단 선임연구원  
 천호현: 세계김치연구소 신공정발효연구단 선임연구원