

김치의 유산균 및 식감 유지를 위한 냉·해동 연구

김진세* · 황영¹ · 정현경 · 송진순 · 손재용 · 최동수 · 김용훈 · 이수장 · 박천완
농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, ¹농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

Freeze-Thaw Study to Minimize the Changes of Lactic Acid Bacteria and Texture of Kimchi

Jinse Kim*, Young Whang¹, Hyun Kyung Jung, Jin Soon Song, Jae Yong Son, Dong Soo Choi, Yong Hoon Kim, Soo Jang Lee and Chun Wan Park

Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA

¹Department of Agro-food Resources, National Institute of Agricultural Sciences, RDA

Abstract

When kimchi is frozen and thawed, the amount of lactic acid bacteria (LAB) and yeast is usually reduced by more than 2 logs, and its texture including its crispness and hardness are changed significantly. As a possible means to minimize these problems, various freezing (direct freezer with -25, -40, and -60°C and plate freezer with -40°C) and thawing methods (radio frequency (RF) thawing, plate thawing, and room temperature thawing) were investigated in terms of the amount of LAB and texture of kimchi. From the use of plate freezing and plate thawing, the amount of LAB of white cabbage kimchi could be maintained by more than 10% of its initial amount while that for red cabbage kimchi could be maintained by more than the initial amount. Pretreatment with trehalose (19 °Brix soluble solid content) to salted Chinese cabbage could maintain kimchi's hardness and crispness. In order to maintain the texture and the amount of LAB in kimchi, the use of the plate freezer (-40°C) and the plate thawing (20°C) seemed to be effective with the assistance of trehalose.

Key words: freeze-thaw, kimchi, lactic acid bacteria, texture, trehalose

서 론

김치는 probiotics로 알려진 *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Weissella* 등의 유산균과 효모인 *Saccharomyces cerevisiae*를 함유하고 있어서(Hong et al., 2016; Lee et al., 2018), 건강에 이로운 영향을 준다고 보고되어 있다(Patra et al., 2016; Zlotek & Swieca, 2015; Hongu et al., 2017; Kim et al., 2018; Kwon et al., 2019). 이러한 유산균은 유통 중에도 계속 증식하여 김치의 맛을 시게 하고, 김치 포장 내에 이산화탄소가 쌓여서 부풀게 만드는 문제가 있다(Lee et al., 2019). 특히 미국 및 유럽에서 최근 한류의 영향으로 김치 소비가 증가하고 있으나(aT, 2019), 선박 운송 시 20-40일 가량이 소요되기 때문에, 김치의 맛을 일정하게 유지하는 기술이 요구되고 있다.

김치의 유통 중 발효를 지연하기 위해 제조 초기의 유산균 농도를 줄이거나, 발효 억제제를 사용하는 다양한 방법이 연구되고 있다(Kim et al., 2012; Cheon et al., 2016; Lee et al., 2018; Choi et al., 2019). 하지만 건강에 좋은 유산균의 양을 충분히 높게 유지하는 것이 발효식품의 요구조건이기 때문에(Heller, 2001), 유산균을 5-8 log CFU/mL 수준으로 높게 유지하며 발효를 지연하는 기술이 필요한 실정이다. 특히, 과냉각 상태로 발효를 지연하는 기술도 최근 연구가 이루어지고 있으나(Choi et al., 2017; Kim et al., 2019), 과냉각 상태로 김치를 수출하기 위해서는 충격에 의한 빙결핵 발생 문제 해결 등 추가적인 연구가 필요한 상태이다.

김치의 유통 중 맛과 영양 성분을 일정하게 하는 방법으로 냉·해동을 이용하는 방법이 있으나, 유산균이 1 log 정도 감소하고(Park & Kim, 2016), 식감이 질겨지며(Koh et al., 1993), -20°C에서 냉동저장 기간이 길어질 경우 elasticity가 줄어드는 문제가 있다(Yang et al., 2003). 유산균 생존율과 관련하여 냉동 속도를 높이는 방법으로 유산균 감소를 유의적으로($p < 0.05$) 완화할 수 있었기 때문에(Park & Kim, 2016), 유산균 생존율을 높일 수 있는 냉·해

*Corresponding author: Jinse Kim, Division of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju, Jeollabuk-do, 54875, Korea
Tel: +82-63-238-4127; Fax: +82-63-238-4105
E-mail: ferroj@korea.kr
Received September 18, 2020; revised October 7, 2020; accepted October 10, 2020

동 속도에 대한 연구가 필요해 보인다. 냉·해동 시 식감 변화를 줄이기 위해서는 배추 세포의 파괴를 최소화 하여야 가능하다. 세포의 생존율이 중요한 식물 유전체의 냉동 저장에서 건조 전처리와 동결보호제 처리가 일반적으로 사용되는데(Wang et al., 2000), 동결보호제를 식품에 적용하기 위해서는 인체에 유해한 glycol 계열과 dimethylsulfoxide (DMSO) 등을 피해야 하고(Best, 2015), 맛 변화도 최소화할 수 있어야 한다. 다당류 동결보호제인 trehalose를 진공 흡출(vacuum impregnation) 처리한 시금치의 냉·해동 시 세포파괴를 줄일 수 있었으며(Phoon et al., 2008), 단맛이 적으며 인체에 무해하다고 보고되어 있기 때문에(Richards et al., 2002, Liu et al., 2013), 김치 냉·해동에 trehalose 적용도 고려해 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 -25, -40, -60°C 직냉식 냉동장치와 -40°C 접촉식 냉동장치를 이용한 냉동법과 상온, 상온 접촉식, 라디오파(RF) 해동 등 해동법을 비교하여 산업적으로 이용할 수 있는 냉·해동 방법 중 유산균의 생존율을 높일 수 있는 냉·해동 방법을 제시하고자 하며, 김치의 냉·해동 식감을 유지하기 위한 건조 및 trehalose 전처리 효과를 분석하고자 한다.

재료 및 방법

재료

직냉식 냉동 온도 별 김치의 해동 특성을 비교하기 위해 2018년 10월 제조된 백김치(Bibigo white cabbage kimchi 500 g, CJ Corp., Eumseoung, Republic of Korea)를 이용하였다. 물김치의 일종인 백김치의 냉동 및 해동 속도를 높여서 배추의 세포파괴를 줄이기 위해 2구 트레이(GMPS GSP-125195-38-2A, QDAM Co., Paju, Republic of Korea)를 이용하여 고상과 액상을 분리하고, 고상 기준 200-250 g 포장하였다. 포장 시 RF 해동을 위해 김치는 2.0-2.5 cm 범위에서 두께가 일정하도록 하였다. 고상을 위주로 품질 분석하였으며, 냉·해동 시 드립이 생길 경우 이를 제외하고 사용하였다.

접촉식 냉동기를 적용하고 해동방법에 따른 유산균 생존율을 분석하기 위하여 2019년 9월 제조된 포기김치(Bibigo whole cabbage kimchi 1.8 kg, CJ Corp., Eumseoung, Republic of Korea)와 백김치(Bibigo white cabbage kimchi 500 g, CJ Corp., Eumseoung, Republic of Korea)를 사용하였다. 접촉식 냉동기 이용 시 양면이 밀착하여 열전도가 되도록 하는 것이 중요하기 때문에, 김치 200-300 g을 15 × 19 cm (두께 70 μm) 크기의 3-layer (two low density polyethylene layers and one polyamide layer) 진공포장필름(#900003, BR Package, Seoul, Republic of Korea)을 이용하여 김치의 두께가 2 cm가 되도록 진공 포장하여 사용하였다.

김치의 냉·해동 시 식감 변화를 줄이기 위한 건조 전처리 실험을 위해 2019년 2월 제조된 포기김치(Bibigo whole cabbage kimchi 1.8 kg, CJ Corp., Eumseoung, Republic of Korea)를 이용하였다. 건조 처리를 위해 비슷한 두께의 배추잎을 각각의 처리구에 포함되도록 하여 건조 및 접촉식 냉해동 실험을 수행하였다.

냉·해동 시 trehalose 전처리 효과 분석은 절임 배추를 대상으로 실험하였다. 2020년 8월 구입한 배추를 사용하였으며, trehalose (TREHA 20 kg, Hayashibara Co. Ltd., Okayama, Japan)와 소금이 녹아있는 용액 담그는 방법과 분말에 절이는 처리를 각각 비교하였다. 일반적으로 배추 절임이 숙임보다 길기때, trehalose 처리구와 대조구에 동일한 배추에서 나온 비슷한 두께의 배추 잎이 각각 포함되도록 하였다.

냉동 방법

직냉식 냉동에는 -25°C 다목적냉동고(BD-320, Zhejiang Xingxing Home Appliance Co., Ltd., Zhejiang, China)와, -40°C 참치냉동고(DS-F520, Daesan-ENG Co., Hanam, Republic of Korea), -60°C 초저온냉동고(DFC-180, Operon Co., Gimpo, Republic of Korea)가 사용되었다. 참치냉동고의 설정온도는 -50°C였으나, 바닥면의 온도는 -40°C로 유지되었으며, 초저온냉동고도 -80°C로 설정하였으나 냉동하는 위치에서의 온도는 -60°C로 측정되었다. 냉동 중 김치의 중심부와 외부표면의 온도는 지름 0.12 mm의 테프론 코팅 K-type 열전대(K-12-Te, Delta Ohm, Sungnam, Republic of Korea)와 데이터로거(Almemo 2690-8A, Ahlborn Messund Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Germany)를 이용하여 10초 간격으로 측정하였다.

플레이트 냉동장치(Plate freezer, Sinhan freezing plant Co., Chungju, Republic of Korea)는 -40°C 이하로 냉각된 열매체유(Neo Silicone Fluid M-2, Matsumura Oil Co. Ltd., Osaka, Japan)를 유로가 포함된 알루미늄 플레이트에 흐르게 하며, 알루미늄 플레이트가 식품에 접촉하는 방법으로 열전도에 의한 냉동이 가능하도록 주문 제작하였다. 플레이트 사이에 2 cm 두께의 금속프레임을 배치하고 플레이트를 밀착하여 사이에 있는 김치 포장의 두께를 2 cm로 조절하였다. 배추잎 단위로 냉동할 경우, 1 cm 두께로 종이 각대를 배치하여 배추잎이 눌러서 손상되지 않도록 하였다. 플레이트 냉동 시 온도는 앞서 직냉식 냉동에 사용했던 열전대와 데이터로거를 이용하여 2초 간격으로 측정하였다.

해동 방법

상온 해동은 20°C 항온 실험실 환경에서 0.1 m/s 이하의 풍속에 노출된 환경으로 해동되었으며, 상온 접촉식 해동은 동일한 온도의 실험실에서 1.5 mm 두께의 제빵용 알

루미늄 타공판(462AL, Benice Co., Pocheon, Republic of Korea) 사이에 접촉한 상태로 김치 포장을 배치하고 1 m/s 이상의 풍속에 노출된 환경에서 해동하였다.

RF 해동은 냉풍을 가하며 RF로 해동할 수 있는 방법(Kim et al., 2016)으로 주문 제작한 해동기(TST-1000, TST Co., Sungnam, Republic of Korea)를 사용하였다. 해동 챔버의 온도는 -20°C , 풍속은 0.5 m/s로 하였으며, RF는 200-500 g 김치 중량에 비례하게 27.12 MHz 200-500 W 출력을 5 cm 간격의 평행판 전극에 공급하는 방식을 적용하였다. 광섬유 온도센서(TS2, Weidmann Technologies Deutschland GmbH, Dresden, Germany)를 김치포장 하부와 챔버 내부에 배치하여 2.5초 간격으로 온도를 측정하였으며, 김치 포장 하부의 온도가 상변화에 의한 잠열구간을 지나 급격히 상승하는 변곡점에 도달하였을 때 종료하였다.

염도, 당도, 산도 분석

분석을 위한 착즙액은 흘러내리는 국물을 제외한 고형부분의 김치를 핸드 블렌더(MQ9035, Braun Household GmbH, Neu-Isenburg, Germany)로 마쇄하고 착즙망(Whirlpak B01248WA, Nasco, Fort Atkinson, WI, USA)을 이용하여 준비하였다. 착즙액의 염도와 당도를 전기 전도도를 이용한 염도계(ES-421, Atago Co., Tokyo, Japan)와 굴절율을 이용한 당도계(RX-5000a, Atago Co., Tokyo, Japan)로 측정하였다. 적정산도는 착즙액 1 mL에 대해 자동 적정기(TitroLine® 5000, SI analytics, Mainz, Germany)를 이용하여 pH 8.30에 도달할 때까지의 0.1 N NaOH 양을 측정하여 lactic acid로 환산하였다.

경도 분석

-25 , -40 , -60°C 의 직냉식 냉동장치와 -40°C 접촉식 냉동장치를 이용하여 냉해동된 김치의 경도 분석은 물성분석기(TA-XT2 texture analyser, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)를 이용 두께 4 mm 이상의 배추 잎에 대해 지름 5 mm probe (P/5, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)로 0.3 mm/s의 속도로 압축하며 1.6 mm 깊이까지 측정하였으며, 경도 값이 직선적으로 증가하는 특성을 통해 40% 깊이에 도달했을 때의 최대힘으로 환산하였다.

건조 처리 또는 trehalose 처리 된 배추 잎의 경우 동일한 물성분석기를 이용 지름 8 mm hole이 있는 플레이트에 배추 잎을 올려놓고 4 mm 이상 두께 부위를 2 mm probe (P/2, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)로 관통시키며 최대힘(peak positive force)과 최대힘까지의 면적(area to positive peak), 양의 면적(positive area)을 분석하였다. 최대힘을 hardness로, 최대힘 이후의 면적(양의 면적과 최대힘까지의 면적의 차이)과 양의 면적의 비율을 crispness로 분석하였다. 이러한 crispness 분석은 기존의 바

삭한 식품에서 소리나 peak의 개수를 이용한 측정방법(Tunick et al., 2013; Voong et al., 2019)과 달리 적용된 사례가 없다. 배추는 표피가 가장 질겨서 첫 번째 나타나는 peak이 대체로 가장 크며, 냉·해동으로 아삭함이 사라진 경우 이러한 최대 peak이 측정 중단으로 이동하는 현상이 나타나기 때문에 최대힘 이후의 면적을 전체 양의 면적으로 나눈 값이 crispness를 대표할 수 있다고 생각하여 사용하였다.

미생물 분석

마쇄한 김치 20 g 채취하고 180 mL 식염수(HAPS, Huko FS Co., Seoul, Republic of Korea)와 함께 균질기(WH4000 2751-9, 3M Korea, Seoul, Korea)로 교반하여 10배 희석액으로 사용하였다. 희석 배수에 따른 용액 1 mL을 건조배지(Petrifilm LAB/YM, 3M, St. Paul, MN, USA)에 분주하고 배양하여 형성된 콜로니를 계수하였다. 유산균 건조배지는 37°C 에서 24 h, 효모 건조배지는 25°C 에서 96 h 배양하였다.

통계 분석

모든 분석결과는 처리구 당 3회 반복 이상 실험한 결과를 평균값과 표준편차로 나타내었으며 통계분석은 IBM SPSS Statistics (25, IBM Corp., Armonk, NY, USA)의 ANOVA test와 Duncan's multiple range test를 통해 시료간 유의적 차이($p < 0.05$)를 검정하였다.

결과 및 고찰

냉동 및 해동 방법에 따른 김치의 유산균 및 효모 생존률

플레이트 냉동장치가 제작되기 전인 2018년에는 -25 , -40 , -60°C 의 세 가지 직냉식 냉동고를 이용하여 백김치를 냉동하고, RF 해동한 뒤의 품질을 유산균과 경도를 중심으로 분석하였다. 트레이에 포장된 200-250 g 백김치를 얼리며, 그 중심부와 트레이 하단의 온도를 측정하였고(Fig. 1a), 냉동된 김치는 -60°C 냉동고에 15 h 보관 후 -40°C 냉동고로 옮긴 뒤 순차적으로 RF 해동하였다(Fig. 1b). 직냉식 냉동고의 특성 상 공기의 흐름이 거의 없기 때문에, -1 - -5°C 의 최대빙결정 형성대를 통과하는 시간은 급속냉동 기준인 30분을 초과하여 소요되었다. 해동을 위해 -40°C 냉동고로 옮긴 이유는 미생물의 생존율에 크게 영향을 주지 않으며(Mazur, 1984), 처리구 해동에 걸리는 시간을 단축하기 위함이었다. -20 , -40 , -60°C 냉동 처리구를 모두 해동할 경우 5시간 이상 소요되어 미생물 증식에 영향을 줄 수 있어서, -20 , -60°C 냉동 처리구만 3반복으로 번갈아 해동하였다. 냉동방법 별 냉동 전과 해동 후의 당도 및 염도, 산도, 미생물, 경도를 비교해보면(Table 1), 당도, 염도, 산도, 미생물에서 유의미한 차이가 나타났으나 경도에 대해서는

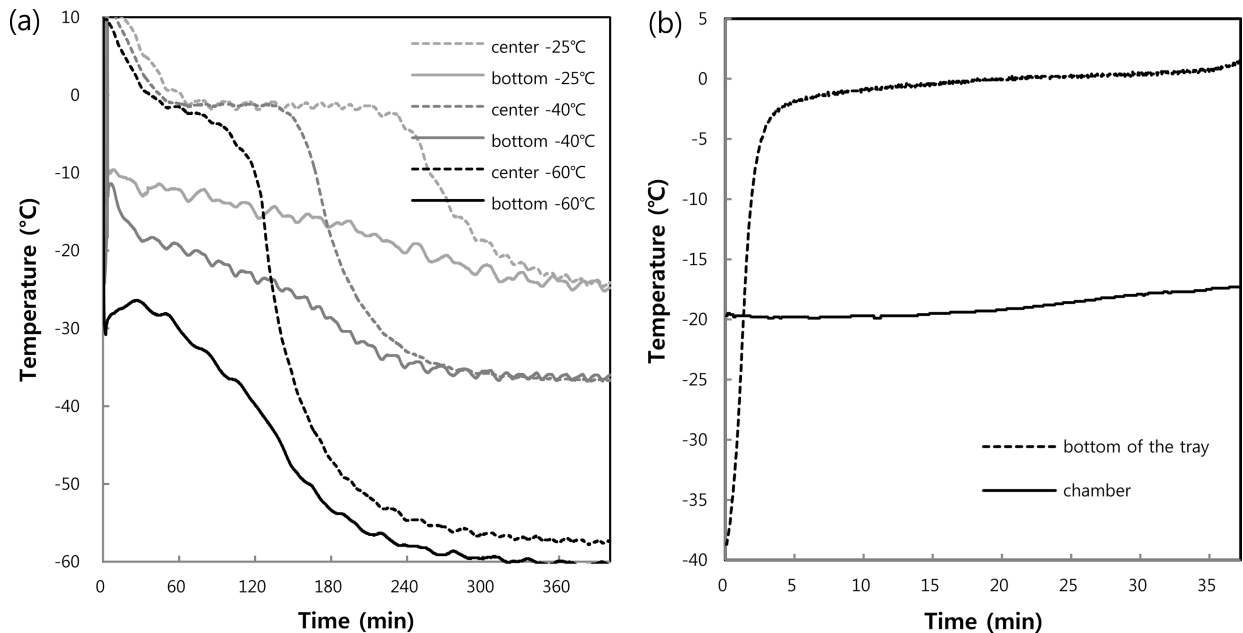


Fig. 1. Freezing curves of white cabbage kimchi package stored in a -25, -40 and -60°C direct freezer (a) and a representative thawing curve in a radio frequency defroster (b).

Table 1. Quality characteristics of white cabbage kimchi before and after freezing at two different temperatures

Characteristics	Before freezing	Thawed after -60°C freezing	Thawed after -25°C freezing
Soluble solid content (°Brix)	5.43±0.06 ^{a*}	5.53±0.06 ^a	6.17±0.06 ^b
Salinity (%)	1.22±0.03 ^a	1.21±0.01 ^a	1.39±0.01 ^b
pH	4.28±0.06 ^a	4.19±0.01 ^c	4.25±0.01 ^b
Titrateable acidity (%)	0.57±0.01 ^a	0.68±0.01 ^c	0.61±0.01 ^b
Lactic acid bacteria (log CFU/mL)	8.43±0.04 ^a	6.78±0.16 ^b	5.91±0.20 ^c
Yeast (log CFU/mL)	3.31±0.15	ND**	ND
Maximum force at 40% depth with Φ5 probe (N)	0.65±0.25 ^a	0.12±0.02 ^b	0.14±0.04 ^b

*The values represent mean±SD log CFU/mL for triplicate experiments. Means with same letters within a line are not significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

**Means with ND are not detected in the solution diluted to 1/10.

냉동 전과 해동 후의 격차가 크게 나타났을 뿐 냉동온도에 따른 차이는 나타나지 않았다. 냉동 중 수분은 얼음 결정으로 성장하며 세포를 파괴하여 해동 후 드립 현상으로 나타나는데, 드립을 제외한 배추잎만 이용하여 품질 분석하였기 때문에, 수분이 손실된 이후 당도와 염도는 높게 측정되었다. 미생물 분석에서 유산균은 -25°C 냉동 시 2.52 log 감소에 비해 -60°C 냉동 시 1.65 log 감소로 생존율이 높아졌으며, 해동이 끝난 이후 대기시간 동안 상온에 보관하며 유산을 발생하여 -60°C 냉동의 경우 더 낮은 pH와 높은 적정 산도를 나타냈다. 배추 두께의 40% 깊이까지 늘렸을 때의 최대 힘은 냉동 전에 비해 크게 감소하였으며 냉동 온도 별 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 해동시간이 짧은 RF 해동을 적용하였음에도 유산균의 생존율이 낮게 나타나고 경도도 감소한 것은 당근이나 무의 품질유지에 해동보다 냉동속도가 중요하다는 기존 연구결과를 참고할 때(Kim et al., 2015; Park et al., 2018), 최대빙결정형

성대 통과시간이 30분 이내인 급속냉동을 적용할 필요가 있다.

냉동 속도를 더욱 높일 경우 김치의 식감과 유산균 감소를 완화할 수 있다는 판단으로 급속냉동장치의 하나인 플레이트 냉동장치를 2019년 제작하였다. 두께 2 cm, 중량 500 g 정도 되는 김치 포장 중심부의 최대빙결정형성대(-1~-5°C) 통과시간은 10분 이내로 급속냉동 기준인 30분보다 크게 단축되었음을 확인하였다(Fig. 2a). 냉동된 김치는 20°C 실험실 조건에서 상온해동 및 상온 접촉식 해동, RF 해동을 하였다(Fig. 2b). 접촉식 냉동을 위한 김치 포장 내부에 빈 공간이 없어야 열전도를 높일 수 있기 때문에, 약간의 김치 국물을 채우고 진공 포장하였으며, 동일하게 포장된 김치의 냉동 전과 각각의 해동 후 품질을 비교하였다(Table 2). 해동방법에 따라 가용성 고형분, 염도, pH는 통계적인 차이가 없었으나, RF 해동이나 플레이트 해동과 같은 급속해동을 할 경우 유산균과 효모 생존율이 높아짐

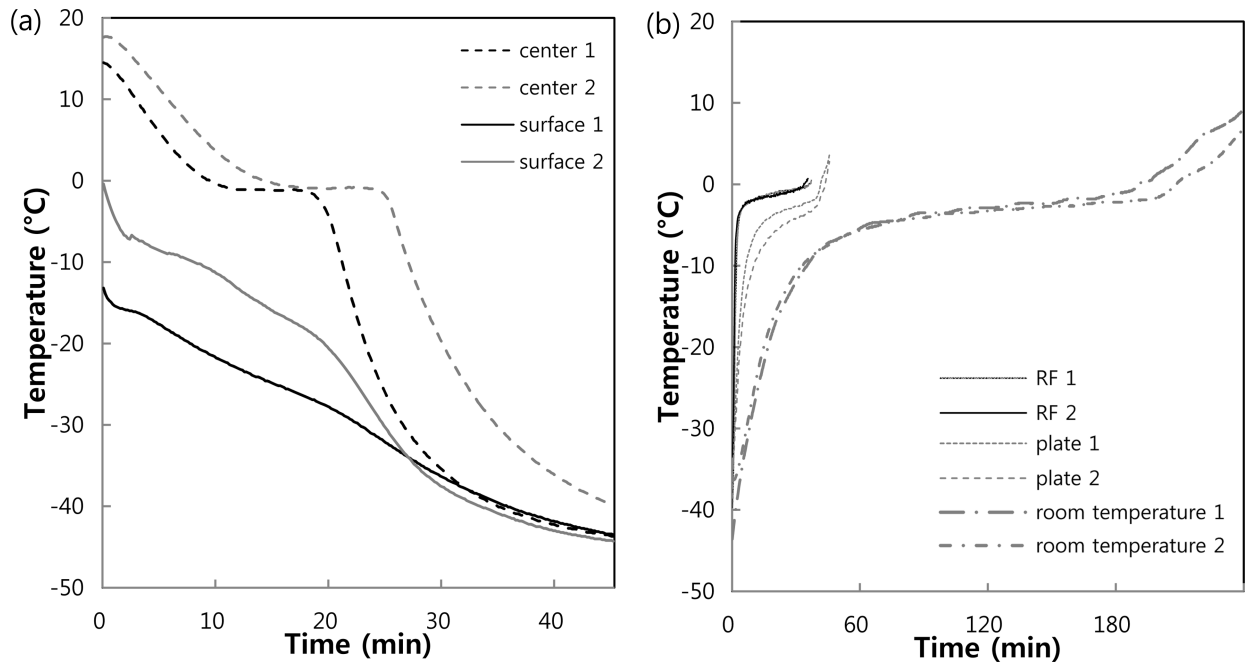


Fig. 2. Freezing curves of kimchi package in a plate freezer (a) and thawing curves depending on three different thawing methods (b). RF and plate represent radio frequency and plate thawing methods, respectively.

Table 2. Effects of three different thawing methods on the quality characteristics of red and white cabbage kimchi

Characteristics	Before freezing	Plate freezing (-40°C)			Direct freezing (-40°C)	
		RF thawing	Plate thawing	Room temperature thawing	Room temperature thawing	
Red cabbage kimchi	Soluble solid content (°Brix)	8.99±0.67*	9.26±0.27	9.01±0.38	8.98±0.43	9.38±0.35
	Salinity (%)	1.47±0.09	1.61±0.10	1.64±0.09	1.58±0.14	1.53±0.08
	pH	4.31±0.03	4.26±0.06	4.32±0.00	4.30±0.07	4.33±0.02
	Titratable acidity (%)	0.87±0.02 ^b	0.94±0.04 ^a	0.87±0.01 ^b	0.86±0.06 ^b	0.87±0.03 ^b
	Lactic acid bacteria (log CFU/mL)	8.14±0.11 ^{ab}	8.47±0.13 ^a	8.50±0.02 ^a	7.91±0.23 ^b	4.98±0.45 ^c
	Yeast (log CFU/mL)	2.47±0.64 ^a	2.77±0.82 ^a	3.19±0.29 ^a	1.16±0.28 ^b	ND
	Maximum force at 40% depth with Φ5 probe (N)	0.85±0.45 ^a	0.27±0.07 ^b	0.23±0.03 ^b	0.25±0.06 ^b	0.23±0.04 ^b
White cabbage kimchi	Soluble solid content (°Brix)	5.60±0.36	5.50±0.25	5.51±0.41	5.18±0.21	5.25±0.20
	Salinity (%)	1.06±0.02	1.12±0.01	1.10±0.05	1.10±0.09	1.07±0.06
	pH	3.94±0.07	3.92±0.01	3.97±0.06	3.92±0.06	3.99±0.01
	Titratable acidity (%)	0.56±0.05 ^{abc}	0.57±0.04 ^{ab}	0.60±0.03 ^a	0.51±0.04 ^{bc}	0.49±0.01 ^c
	Lactic acid bacteria (log CFU/mL)	8.86±0.73 ^a	7.78±0.07 ^{ab}	8.06±0.26 ^{ab}	7.45±0.52 ^b	5.72±1.07 ^c
	Yeast (log CFU/mL)	3.55±0.1 ^a	2.90±0.20 ^b	3.30±0.33 ^{ab}	1.39±0.36 ^c	ND
	Maximum force at 40% depth with Φ5 probe (N)	0.97±0.33 ^a	0.23±0.07 ^b	0.27±0.12 ^b	0.24±0.07 ^b	0.22±0.06 ^b

*The values represent mean±SD log CFU/mL for triplicate experiments. Means with same letters or without letters within a line are not significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

**Means with ND are not detected in the solution diluted to 1/10.

을 확인할 수 있었다. 특히 비교를 위해 -40°C 직냉식 냉동을 적용하고 상온 해동을 한 경우 3 log 이상의 감소가 나타났으며, 이는 Table 1의 -25°C 직냉식 냉동과 RF 해동을 한 2.52 log 감소보다 크기 때문에 유산균의 생존율을 높이기 위해 급속해동이 중요함을 알 수 있다. 백김치의 경우 급속해동을 적용하여도 1 log 수준의 감소가 있었으나, 포기김치의 경우 오히려 더 높게 나타났는데, 유산균

생존율이 높은 상태로 해동되고, 상온에서 대조구 해동이 끝날 때까지 기다리며 유산균이 증식한 것이 원인으로 추정된다. 포기김치의 경우 백김치에 비해 당도가 높으며 sucrose도 동결보호제의 하나이기 때문에 유산균의 생존율이 더욱 높았던 것으로 판단된다.

이상의 결과로, 김치의 probiotics인 유산균과 효모는 상용화가 용이한 온도인 -40°C 플레이트 냉동과 RF해동 후

Table 3. Effect of dry pretreatment on the texture of kimchi during freezing and thawing

Dry weight loss	Hardness with $\Phi 2$ probe (N)		Crispness (%)	
	Before freezing	After thawing	Before freezing	After thawing
0%	6.43±1.22 ^c	9.65±2.00 ^b	49.0±15.0 ^{ab}	24.8±11.3 ^{cd}
14.1±1.9%	7.47±2.04 ^{de}	9.00±1.93 ^{bc}	40.9±12.6 ^b	25.6±10.7 ^{cd}
23.9±2.7%	7.05±1.05 ^e	7.77±2.53 ^{cde}	54.3±9.7 ^a	24.8±17.2 ^{cd}
37.3±3.7%	6.38±2.04 ^e	8.73±1.87 ^{bcd}	44.7±16.4 ^b	21.1±11.7 ^d
56.3±7.5%	8.67±2.73 ^{bcd}	11.61±3.37 ^a	31.1±15.7 ^c	17.9±11.1 ^d

*The values represent mean±SD for triplicate experiments. Means with same letters within a row are not significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

Table 4. Effects of trehalose treatment on the textural changes of salted Chinese cabbage during freezing and thawing

Treatment	Freeze-thaw (Fig 3)	Juice from ground cabbage after texture analysis		Hardness with $\Phi 2$ probe (N)		Crispness (%)	
		Salinity (%)	Soluble solid content (°Brix)	Before freezing	After thawing	Before freezing	After thawing
Immersion in 8% salinity water a day (9.1 °Brix from salt)	Plate - Plate	4.9	10.25	6.57±0.71 ^{abc*}	7.76±1.78 ^{defg}	45.8±10.7 ^{bc}	31.9±12 ^{efg}
Immersion in 7.1% salinity and 14.5 °Brix water a day	Plate - Plate	3.3	11.69	6.45±1.38 ^{abc}	6.84±1.52 ^{bcd}	49.8±15.4 ^{ab}	35.1±8.6 ^{def}
Immersion in 2.7% salinity water a day (3.56 °Brix from salt)	Plate - Plate	1.18	4.35	6.30±1.01 ^{ab}	7.46±1.33 ^{cde}	55.1±12.8 ^a	31.8±11.4 ^{efg}
Immersion in 2.7% salinity and 18 °Brix water a day	Plate - Plate	1.63	7.49	5.95±0.88 ^a	7.41±1.21 ^{cde}	51.2±11.3 ^{ab}	34.0±8.1 ^{defg}
3 hours with salt + a day without salt	Plate - Plate	5.7	11.78	6.98±1.43 ^{bcd}	8.01±1.01 ^{efgh}	33.4±11.2 ^{defg}	28.8±13.4 ^{fg}
3 hours with salt + a day in trehalose	Plate - Plate	4.5	12.73	7.11±0.79 ^{bcd}	7.57±1.07 ^{def}	39.7±10.5 ^{cde}	32.0±14.2 ^{efg}
3 hour with salt + a week without salt	Plate - Plate	6.9	13.8	6.94±1.02 ^{bcd}	8.35±1.38 ^{efgh}	41.2±7.0 ^{cd}	28.6±11.8 ^{fg}
3 hours with salt + a week in trehalose	Plate - Plate	5.7	19.2	7.83±1.06 ^{defg}	6.62±1.05 ^{abc}	32.1±11.1 ^{efg}	38.5±17.6 ^{cde}
1 hour in salt + a week in trehalose	Fan type -	9.1	22.8	8.60±1.81 ^{gh}	8.75±2.02 ^h	36.5±12.2 ^{def}	27.3±12.1 ^f

*The values represent mean±SD for triplicate experiments. Means with same letters within same characteristic are not significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test

은 상온 플레이트 해동을 적용할 경우 그 생존율을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 실용화 관점에서 플레이트 냉동과 상온 플레이트 해동을 적용하는 것이 합리적이라 판단된다.

건조와 trehalose 전처리의 식감 유지 효과

앞에서, -40°C 플레이트 냉동과 상온 플레이트 해동으로 유산균과 효모의 생존율을 높일 수 있었으나, 식감을 유지하지는 못하였다. 미생물의 생존율을 높이는 플레이트 냉·해동 조건에서 식감 변화를 최소화 하기 위한 건조 전처리 효과를 분석하였다(Table 3). 경도 측정 방법은 앞서 측정 한 일정 깊이에서의 최대힘보다는 냉·해동 후 질겨지고 아삭함이 사라지는 특징에 초점을 맞추기 위해 관통하며 힘을 측정하였다. Crispness는 건조 후 냉·해동 시 개선되는 현상이 나타나지 않았으나, hardness는 24% 정도 중량감소 후 냉·해동을 했을 때 가장 작게 측정되어 질겨지는 현상이 감소하였음을 확인하였다.

세포파괴를 줄이면 아삭한 식감이 개선될 것이라는 생각

으로 동결보호제의 일종인 trehalose를 소금물에 같이 녹여서 적용한 방법과 소금 절임 이후 trehalose에 묻어두는 방법을 각각 적용하여 다양한 염도와 당도에 따른 냉·해동 시 경도 변화를 분석하였다(Table 4). 배추의 염도가 높아질 경우 hardness가 증가하고 crispness가 감소하였으며, trehalose 처리에 의한 가용성 고형분이 증가할 경우 플레이트 냉·해동 이후의 hardness 증가가 완화되고, crispness도 높게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 다만, 최대밀경정형성대 통과시간을 30분 정도로 하는 관행적인 급속냉동 방법(Fig. 3)으로는 이러한 hardness 증가 완화와 crispness 감소 완화가 나타나지 않았다. Trehalose는 동결보호제의 하나로 냉동요구르트에 처리 시 유산균의 생존율을 향상시켰기 때문에(Woo et al., 2010), 김치 유산균 생존율에도 영향을 줄 것으로 예상되며, 향후 냉동김치의 상업화를 위해 급속 냉·해동과 더불어 적용할 경우 hardness 증가를 막고, crispness를 유지하는데 효과가 있을 것으로 판단된다. Trehalose 처리에 의해 절임배추의 가용성 고형분이 19.2 °Brix인 경우에도 사람이 느끼는 단맛은 일반적인 김

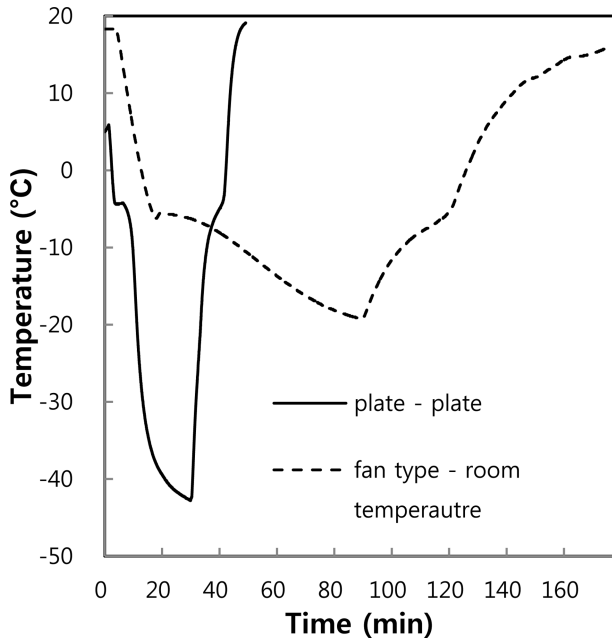


Fig. 3. Effect of trehalose pretreatment on the freeze-thaw curves of kimchi.

치 수준 정도였는데, 이는 다른 당류와 단맛을 비교 분석한 기존 연구와도 일치하며(Portmann & Birch, 1995), 김치의 소스를 만들 때 설탕을 대체하는 방법으로 적용하는 것도 고려해 볼 만하다.

요 약

김치의 냉·해동 시 유산균과 효모가 크게 감소하고, 아삭한 식감이 사라지고 질겨지는 현상을 개선하기 위해 -25, -40, -60°C 직냉식 냉동장치와 -40°C 플레이트 냉동장치를 사용하고 해동방법도 RF 해동, 상온 플레이트 해동, 상온 해동을 적용하여 최대빙결정형성대 통과시간을 다르게 하여 유산균과 효모의 생존율을 비교하였다. 냉동 시 최대빙결정형성대 통과시간이 10분 이내, 해동 시 30분 이내인 플레이트 냉동과 RF 해동 혹은 상온 플레이트 해동을 적용한 경우 유산균 감소를 1 log 이하로 줄일 수 있었다. 냉·해동 시 식감 변화를 막기 위해 건조 및 trehalose 전처리를 다양하게 수행하였는데, 24% 정도의 중량감소가 되는 건조상태에서 냉·해동 후의 hardness 증가가 최소화 되었고, trehalose 전처리하여 가용성 고형분이 19 °Brix 이상이 되었을 때 플레이트 냉해동을 할 경우 hardness 증가가 없고, crispness도 높게 유지되는 것을 확인하였다. 김치의 제조 시 설탕 대신 trehalose를 적용하고 최대빙결정형성대 통과시간이 10분 이내인 플레이트 냉동과 30분 이내인 상온 플레이트 해동을 적용한다면 냉·해동 시 유산균 양과 식감 변화를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 농촌진흥청 기관고유사업(과제번호: PJ01343901)의 지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

References

aT. 2019. Agriculture, forestry and fisheries import & export & statistics. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, Naju, Korea, pp. 20.

Best BP. 2015. Cryoprotectant toxicity: facts, issues and questions. *Rejuvenation Res.* 18: 422-436.

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.

Choi EJ, Park HW, Yang HS, Chun HH. 2017. Effects of combined treatment with ultraviolet-C irradiation and grape seed extract followed by supercooled storage on microbial inactivation and quality of *dongchimi*. *LWT* 85: 110-120.

Choi EJ, Park HW, Kim SB, Ryu S, Lim J, Hong EJ, Byeon YS, Chun HH. 2019. Sequential application of plasma-activated water and mild heating improves microbiological quality of ready-to-use shredded salted kimchi cabbage (*Brassica pekinensis* L.). *Food Control* 98: 501-509.

Heller KJ. 2001. Probiotic bacteria in fermented foods: product characteristics and starter organisms. *Am. J. Clin. Nutr.* 73: 374S-379S.

Hong SW, Choi YJ, Lee HW, Yang JH, Lee MA. 2016. Microbial community structure of Korean cabbage kimchi and ingredients with denaturing gradient gel electrophoresis. *J. Microbiol. Biotechnol.* 26: 1057-1062.

Hongu N, Kim AS, Suzuki A, Wilson H, Tsui KC, Park S. 2017. Korean kimchi: promoting healthy meals through cultural tradition. *J. Ethn. Foods* 4: 172-180.

Kim J, Bang J, Beuchat LR, Kim H, Ryu JH. 2012. Controlled fermentation of kimchi using naturally occurring antimicrobial agents. *Food Microbiol.* 70: 129-136.

Kim JH, Min SG, Choi MJ, Yoo SM, Jo YJ, Chun JY. 2015. Effect of various freezing and thawing methods on physico-chemical characterization of carrot. *Food Eng. Prog.* 19: 306-312.

Kim B, Mun EG, Kim D, Kim Y, Park Y, Lee HJ, Cha YS. 2018. A survey of research papers on the health benefits of kimchi and kimchi lactic acid bacteria. *J. Nutr. Health* 51: 1-13.

Kim J, Nam S, Jung HK, Son JY, Choi DS, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Kim HY, Park SH. 2019. Improvement of temperature constancy of direct refrigerator for supercooled storage. *Food Eng. Prog.* 23: 270-277.

Kim J, Park JW, Park S, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Cho BK. 2016. Study of radio frequency thawing for cylindrical pork sirloin. *J. Biosyst. Eng.* 41: 108-115.

Koh HY, Lee H, Yang HC. 1993. Quality changes of salted Chinese cabbage and kimchi during freezing storage. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 22: 62-67.

Kwon MS, Shin MY, Lim SK, Lee J, Park HK, Kim N, Yun HE,

- Oh YJ, Choi HJ. 2019. *Leuconostoc citreum* isolated from kimchi suppresses the development of collagen-induced arthritis in DBA/1 mice. *J. Funct. Foods* 63: 103579.
- Lee HG, Jeong S, Park JY, Yoo SR. 2018. Effect of pasteurization on delayed kimchi ripening and regression analysis for shelf life estimation of kimchi. *Food Sci. Nutr.* 7: 711-720.
- Lee HG, Jeong S, Yoo SR. 2019. Development of food packaging materials containing calcium hydroxide and porous medium with carbon dioxide-adsorptive function. *Food Packag. Shelf Life* 21: 100352.
- Liu M, Zhang M, Ye H, Lin S, Yang Y, Wang L, Jones G, Trang H. 2013. Multiple toxicity studies of trehalose in mice by intragastric administration. *Food Chem.* 136: 485-490.
- Mazur P. 1984. Freezing of living cells: mechanisms and implications. *Am. J. Physiol.* 247: C125-C142.
- Park JH, Kim HY. 2016. Changes of the quality characteristics of Chinese cabbage kimchi with various freezing and thawing condition. *Food Service Industry J.* 12: 203-215.
- Park JH, Park JJ, Park BR, Han GJ, Kim HY. 2018. The effect of freezing and thawing conditions on the quality characteristic of blanched radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Eng. Prog.* 22: 67-74.
- Patra JK, Das G, Paramithiotis S, Shin HS. 2016. Kimchi and other widely consumed traditional fermented foods of Korea: a review. *Front. Microbiol.* 7: 1493.
- Phoon PY, Galindo FG, Vicente A., Dejmek P. 2008. Pulsed electric field in combination with vacuum impregnation with trehalose improves the freezing tolerance of spinach leaves. *J. Food Eng.* 88: 144-148.
- Portmann MO, Birch G. 1995. Sweet taste and solution properties of α,α -trehalose. *J. Sci. Food Agric.* 69: 275-281.
- Richards AB, Krakowka S, Dexter LB, Schmid H, Wolterbeek APM, Waalkens-Berendsen DH, Shigoyuki A, Kurimoto M. 2002. Trehalose: a review of properties, history of use and human tolerance, and results of multiple safety studies. *Food Chem. Toxicol.* 40: 871-898.
- Tunick MH, Onwulata CI, Thomas AE, Phillips JG, Mukhopadhyay S, Sheen S, Liu CK, Latona N, Pimentel MR, Cooke PH. 2013. Critical evaluation of crispy and crunchy textures: a review. *Int. J. Food Prop.* 16: 949-963.
- Voong KY, Norton-Welch A, Mills TB, Norton I. 2019. Understanding and predicting sensory crispness of deep-fried battered and breaded coatings. *J. Texture Stud.* 50: 456-464.
- Wang Q, Tanne E, Arav A, Gafny R. 2000. Cryopreservation of *in vitro*-grown shoot tips of grapevine by encapsulation-dehydration. *Plant Cell Tissue Organ cult.* 63: 41-46.
- Woo SH, Jhoo JW, Yoon WB, Kim GY. 2010. Effect of trehalose and sugar alcohol on the viability of lactic acid bacteria and quality characteristics during frozen storage of yoghurt. *Food Eng. Prog.* 14: 14-20.
- Yang JH, Park SH, Yoo JH, Lim HS, Jo JS, Hwang SY. 2003. Effect of freezing methods for kimchi storage stability on physical properties of Chinese cabbage. *Korean J. Food Culture* 18: 105-110.
- Zlotek U, Swieca M. 2015. Elicitation effect of *Saccharomyces cerevisiae* yeast extract on main health-promoting compounds and antioxidant and anti-inflammatory potential of butter lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Sci. Food Agr.* 96: 2565-2572.

Author Information

- 김진세: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 농업연구사
- 황영: 국립농업과학원 농식품자원부 발효가공식품과 농업연구사
- 정현경: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 공무직연구원
- 송진순: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 공무직연구원
- 손재용: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 농업연구관
- 최동수: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 농업연구사
- 김용훈: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 농업연구사
- 이수장: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 공업주사보
- 박천완: 국립농업과학원 농업공학부 수확후관리공학과 박사후연구원