

변온 저장 중 반면적 통기성 필름을 적용한 포장 깍두기의 팽창 방지 효과

박소윤^{1,2} · 윤석민^{1,2} · 강미란^{1,3} · 은종방² · 천호현^{1*}

¹세계김치연구소 실용화기술연구단, ²전남대학교 융합식품바이오공학과, ³전남대학교 식품영양과학부

Effects of Half-Area Breathable Film on Preventing Expansion of Packaged-Cubed Radish Kimchi during Storage under Altering Temperature Conditions

So Yoon Park^{1,2}, Suk-Min Yun^{1,2}, Miran Kang^{1,3}, Jong-Bang Eun², and Ho Hyun Chun^{1*}

¹Kimchi Industry Promotion Division, World Institute of Kimchi

²Department of Integrative Food, Bioscience and Biotechnology, Chonnam National University

³Division of Food and Nutrition, Chonnam National University

Abstract

In this study, changes in the quality and headspace O₂/CO₂ concentrations of cubed radish (*Raphanus sativus* L.) kimchi (CR-kimchi) packaged using multilayer airtight film (MAF), half-area breathable film (HABF), partial area breathable film (PABF), and one-way degassing valve-mounted film (ODVF) were investigated during storage under altering temperature conditions. The total lactic acid bacteria count in CR-kimchi samples stored for 6 days at 0°C, followed by 8 days at 6°C, increased to 7.8-7.9 log CFU/g, regardless of the packaging. The titratable acidity of the CR-kimchi samples increased to 0.6-0.7% during storage at 0°C for 6 days and then at 6°C for 8 days; it was maintained at 0.6-0.8% for 32 days of storage at -3°C. After 46 days of storage, the reduced sugar content of CR-kimchi packaged using MAF, HABF, PABF, and ODVF decreased to 26.8-30.3 mg/g, indicating no significant ($p>0.05$) differences. However, during storage, headspace CO₂ concentration and film volume were lower in the HABF treatment than in the control, PABF, and ODVF treatments, indicating that HABF packaging combined with supercooled (-3°C) storage can extend the optimal ripening period of CR-kimchi without packaging expansion during storage.

Key words: cubed radish kimchi, breathable film, packaging, storage, quality

서 론

우리나라의 전통 발효식품인 김치는 채소류를 주원료로 절임, 세척, 양념 혼합 과정을 거쳐 그대로 또는 발효시킨 것을 의미하며 과거에는 가정에서 김치를 직접 담가서 먹는 것이 보편적이었다(Lee et al., 2023). 그러나 맞벌이 가구의 증가, 식생활 편의성의 증시 및 핵가족화 같은 경제적·사회적 변화는 상품김치에 대한 선호도와 수요를 증가시켜 국내 김치산업의 성장을 견인하였다(Kang et al., 2022). 2020년 국내 상품김치의 총 생산량은 약 51만 톤에 달하였다(Park et al., 2022). 또한 2020년 이후 코로나-19 감염증이 전 세계적으로 확산되면서 면역력 강화에 도움을 줄 수 있는 식품으로 알려진 국산 김치에 대한 외국인들의

관심이 높아지고 있다.

김치에는 *Leuconostoc* spp., *Lactobacillus* spp., *Wissella* spp. 등 다양한 유산균이 존재한다(Goksen et al., 2023). 이러한 유산균은 발효과정 중 김치에 함유된 당류를 분해하여 유기산, 알코올 및 이산화탄소를 생성시킨다(Grujović et al., 2022). 김치는 제조과정 중 별도의 살균 처리를 거치지 않더라도 유산균의 증식에 의해서 다른 병원성 미생물은 불활성되기 때문에 안전한 식품으로 여겨진다(Jung et al., 2019). 그러나 장기간 저장 또는 유통된 상품김치는 과도한 유산 발효가 진행되어 지나친 신맛이 나타나고 상품성이 떨어진다(Lee et al., 2019).

식품의 포장은 외부 환경으로부터 제품을 보호하고 품질을 유지하여 최종적으로 유통기한을 연장할 수 있는 효과적인 수단이다(Shao et al., 2021). 상품김치에 사용되는 포장 소재로 polyvinyl chloride/low density polyethylene 기반 트레이, 유리/플라스틱 용기, polyethylene/polypropylene/aluminum foil 기반 다층 필름 파우치가 있다. 일반적으로 1 kg 미만의 김치 소포장 시 가격이 저렴한 다층 필름 파우치가 널리 이용되고 있다(Lee & Yoo, 2017). 그러나 다

*Corresponding author: Ho Hyun Chun, Kimchi Industry Promotion Division, World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Korea
Tel: +82-62-610-1761; Fax: +82-62-610-1850
E-mail: hhchun@wikim.re.kr
Received August 22, 2023; revised October 24, 2023; accepted October 31, 2023

층 필름은 기체 투과성이 매우 낮아 김치 유통 중 필름 내부에 이산화탄소가 축적되어 포장이 부풀거나 심할 경우 파손될 수 있으며 이는 결과적으로 김치의 저장 수명을 단축하는 원인으로 작용한다(Kang et al., 2022). 미세 천공 필름, 이산화탄소 흡수제, 단방향 가스 배출 밸브가 김치 포장의 팽창 방지 기술 개발 연구에 적용된 바 있다(Lee & Yoo, 2017; Jaisan et al., 2018; Yu et al., 2023). 이러한 포장 기법은 김치 국물이 외부로 유출되거나 이산화탄소 흡착량이 제한적인 문제가 있으며 포장 단가의 인상 요인으로 작용할 수 있다(Park et al., 2022). 따라서 김치산업에서는 장기 유통 중 김치 포장 내부의 기체 조성을 제어하여 팽창을 방지할 수 있는 새로운 포장 필름 개발 및 보급에 대한 요구가 증가하고 있다.

본 연구에서 개발된 마이크로/나노 발포 구조체 통기성 필름은 광 흡수율이 낮은 polyethylene 필름에 자외선 파장에 반응하는 발포제를 첨가한 후 레이저 조사를 통해 마이크로 또는 나노 크기의 pore 구조를 형성하는 방식으로 제조되었으며 높은 기체 투과성을 가지는 특징이 있다. 개발된 통기성 필름의 기체 투과성은 발포제 첨가량과 레이저 조사 강도에 따라 조절될 수 있다. 본 연구진의 선행연구에서 이 통기성 필름이 전면적에 적용된 포장지를 제조하여 맛김치의 포장에 적용한 결과 저장 중 포장 팽창 방지 효과가 확인되었다(Park et al., 2022).

포장을 마친 상품김치는 저온 저장, 운송, 판매 및 가정 냉장고 보관을 거치면서 다양한 온도에 노출될 수 있다(Kim et al., 2020a). 일반적으로 김치 가공 작업장 온도는 10°C 부근으로 유지되며 김치가 출하될 때까지 저장하는 저온창고 온도는 약 0-2°C 수준이다(Choi et al., 2020). 반면 대형 할인점이나 소매점의 냉장 진열대의 온도는 2-10°C로 유지되고 있다(Kim et al., 2020a). 일반적 냉장온도에서 김치는 약 2주 만에 pH가 4.5 수준으로 감소하며 그 이후에는 과숙성 상태로 진입하여 품질 저하가 발생할 수 있다(Park et al., 2022).

김치의 짧은 저장수명 문제를 해결하기 위해 과냉각 저장 기술이 연구되고 있다(Kim et al., 2021). 과냉각은 얼음 핵이 형성되기 전에 에너지 장벽을 극복하여 동결과 같은 상변화 없이 제품의 온도를 초기 어는점 이하로 낮추는 과정을 의미한다(Kang et al., 2020b). 과냉각 온도를 이용하여 갓김치(Lee et al., 2021), 마늘(James et al., 2009), 신선편이 양파(Koide et al., 2022)와 사과(Osuga et al., 2021)의 품질 유지 기간 연장에 대한 결과가 보고되었다. 그러나 과냉각 기술을 이용하여 저장 중 적숙 상태의 깍두기 김치의 과숙성 방지 효과에 대한 연구는 수행된 바 없다.

따라서 본 연구는 냉장과 과냉각 온도를 적용한 변온 저장 중 반면적과 부분면적 통기성 필름으로 포장된 깍두기의 미생물학적 및 이화학적 품질 변화와 포장 안정성을 조사하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구는 경상남도 김해시 소재 김치가공업체(Daekwang F&G Co., Ltd., Gimhae, Korea)에서 당일 제조한 깍두기를 구매하여 시료로 이용하였다. 깍두기의 주재료는 절임 무(83%)이며 혼합에 사용한 양념은 멸치액젓(1.0%), 다시마 육수(0.8%), 고춧가루(4.3%), 참쌀풀(1.4%), 마늘(1.0%), 양파(0.7%), 대파(0.4%), 설탕(1.3%), 새우젓(2.0%), 생강(0.3%), 정제소금으로 구성되었다. 깍두기 시료는 0°C로 설정한 냉동 탑차를 이용하여 광주광역시 소재 연구실까지 운송 후 저장 실험에 이용하였다.

포장 방법

깍두기 시료는 다층 밀폐 필름(polyethylene terephthalate (PET)/aluminum foil (AL)/low density polyethylene (LDPE), 15 × 22 cm, 0.1 mL O₂/m²·day·atm, Rizen P&M, Gwangju, Korea), 부분면적 통기성 필름(15 × 22 cm, 10 mL O₂/m²·day·atm, Rizen P&M, Gwangju, Korea), 반면적 통기성 필름(15 × 22 cm, 700 mL O₂/m²·day·atm, Rizen P&M, Gwangju, Korea)과 단방향 가스 제거 밸브 부착 필름(15 × 22 cm, 0.1 mL O₂/m²·day·atm, Pack4U Co., Seoul, Korea)에 300 g 씩 각각 옮겨 담은 후 밀봉 포장하였다. 반면적과 부분면적 통기성 필름은 겉지와 속지가 접착된 이중 구조를 가지고 있다. 겉지는 PET/AL/LDPE를 합지한 후 미세천공을 형성시켜 통기 통로를 확보하였다. 속지는 200-400 nm의 자외선 영역에서 광 흡수율이 낮은 LDPE와 상대적으로 광 흡수율이 높은 발포제(azodicarbonamide)를 혼합한 필름에 펄스 레이저 빔을 조사하여 제조하였다. 속지 내 다수의 마이크로/나노 발포 구조체(pores/channels)가 형성됨에 따라 속지의 기체 투과성은 향상되었다. 다층 밀폐 필름으로 포장한 시료는 대조구로 사용하였다.

저장 조건

포장된 깍두기 시료는 상품김치의 유통 온도와 기간을 고려한 변온 저장 조건으로 저장하였다. 구체적으로 저장 0-6일은 김치가공업체 저온창고 온도를 모의한 0.0±0.3°C, 저장 7-14일은 소매업체 냉장 진열대 온도를 모의한 6.0±0.3°C, 저장 15-46일은 가정에서 과냉각 저장 온도를 모의한 -3.0±0.3°C로 각각 설정하였다.

본 연구에서 이용한 깍두기 시료의 냉각 특성은 Lee et al. (2021)의 방법을 이용하여 분석하였다. 깍두기의 어는점은 -1.8±0.1°C이었으며 빙핵 형성 온도는 -3.8±0.2°C로 나타났다(Fig. 1). 어는점과 빙핵 형성 온도 사이인 과냉각 구간은 Δ2.0±0.3°C로 확인되어 과냉각 저장 온도(-3°C) 설정에 참고하였다(Fig. 1). 저장 3, 6, 10, 14, 22, 30, 38과 46일 후 시료의 미생물 수, 이화학적 품질 특성,

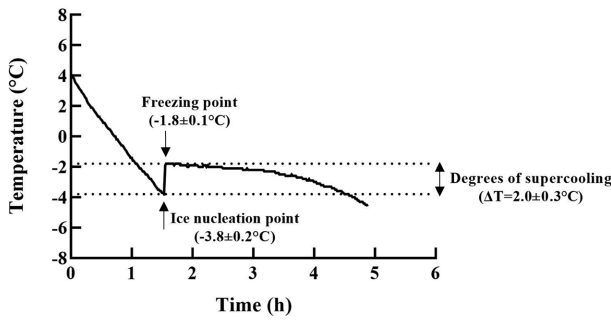


Fig. 1. Time-temperature profile of cubed radish kimchi cooling in the experimental cold chamber.

포장 필름 headspace 기체 농도와 포장 필름 부피를 분석하였다.

깍두기의 미생물 수 측정

미생물 분석은 AOAC (2019)와 식품공전의 표준 분석법에 근거하여 진행되었으며 자세한 방법은 다음과 같다. 깍두기 시료 20 g은 멸균 생리식염수(0.85% NaCl) 180 mL가 담긴 멸균 stomacher bag에 넣고 stomacher (Bagmixer R400, Interscience Inc., Saint Nom, France)로 3분간 균질화하였다. 균질 용액을 단계별로 희석한 다음 희석액은 각각의 배지에 1 mL씩 접종하였다. 총 대장균군과 총 호기성 세균은 coliform count plates (3M™ Petrifilm™ CC, 3M Co., St. Paul, USA)와 rapid aerobic count plates (3M™ Petrifilm™ RAC, 3M Co., St. Paul, USA)를 각각 사용하였으며 36°C에서 24시간 배양하였다. 총 대장균군은 가스를 가진 붉은색 집락 수를, 총 호기성 세균은 검출되는 모든 집락 수를 계수하였다. 총 유산균은 lactic acid bacteria count plates (3M™ Petrifilm™ LAB, 3M Co., St. Paul, USA)를 사용하여 36°C에서 48시간 배양한 후 발현된 모든 집락 수를 계수하였다. 효모/곰팡이는 rapid yeast and mold count plates (3M™ Petrifilm™ RYM, 3M Co., St. Paul, USA)를 사용하여 28°C에서 48시간 배양 후 푸른 녹색 또는 미색의 균체 수를 계수하였다. 각 미생물 수는 3회 반복 측정하였으며 검출된 미생물 수는 시료 g당 colony forming unit (CFU)로 나타났다.

깍두기의 이화학적 품질 분석

pH와 적정산도는 AOAC (2012)의 표준 분석법으로 측정하였다. pH와 적정산도 측정을 위해 깍두기 시료는 균질기 (HR1390, Philips, Guangzhou, China)를 이용하여 분쇄하고 균질화하였다. 균질화된 시료의 pH는 pH 전극(Orion 8157BNUMD ROSS Ultra pH/ATC Triode, Thermo Fisher Scientific Inc., Chelmsford, MA, USA)을 장착한 multiparameter benchtop meter (Orion VERSA STAR 90, Thermo Fisher Scientific Inc., Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다.

적정산도 분석에 이용한 시료는 1 g을 정확하게 칭량하여 1차 증류수로 50배 희석한 뒤 여과하였다. 20 mL 여액은 pH가 8.3에 도달할 때까지 0.01 N NaOH 용액으로 적정한 후 0.01 N NaOH 용액의 소비량은 측정하였다. 적정산도는 다음의 식에 따라 lactic acid (%) 양으로 환산하여 나타났다.

$$\begin{aligned} \text{적정산도}(\%) &= (0.01 \text{ N NaOH 소비량}(\text{mL}) \\ &\times 0.0009 \times 0.01 \text{ N NaOH의 역가} \times \text{희석배수}) / \\ &\text{시료 채취량}(\text{g}) \times 100 \end{aligned}$$

환원당 함량은 Choi et al. (2019)의 dinitrosalicylic acid (DNS) 방법에 따라 분석하였다. 분쇄 시료를 1차 증류수로 50배 희석 후 희석한 시료 용액 1 mL은 DNS 시약 3 mL와 혼합하였다. 이 혼합 용액은 100°C water bath에서 5분 동안 증탕하고 실온에서 충분히 냉각시킨 다음 증류수 16 mL를 가하였다. 반응 용액의 흡광도는 UV-Vis spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu Scientific Instruments Inc., Columbia, MD, USA)를 이용하여 550 nm에서 측정하였다. 표준 검량선은 표준물질로서 glucose (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 농도별로 DNS 시약과 반응시켜 작성하였으며 환원당 함량은 mg/g으로 나타내었다.

염도는 Song et al. (2020)이 보고한 방법에 따라 분쇄한 시료를 2점의 거즈로 여과한 후 디지털 염도계(PAL-ES3, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다.

포장 필름 headspace의 O₂/CO₂ 농도

깍두기를 포장한 필름 headspace O₂와 CO₂ 농도(%)는 필름 표면에 septum을 부착한 후 휴대용 O₂/CO₂ 가스 분석기(CheckPoint 3, AMETEK MOCON, Brooklyn, MN, USA)를 이용하여 측정하였다.

포장 필름 부피와 외관

변은 저장 중 깍두기가 담긴 필름의 부피 변화는 Yang et al. (2011)의 방법을 참고하여 측정하였다. 포장 필름을 증류수가 담긴 5 L 비이커에 침지한 후 필름 부피에 대체하여 비이커 바깥으로 넘친 증류수의 무게를 측정하여 포장 필름의 부피는 결정하였다. 포장 필름 부피의 수치(mL)는 대체된 증류수의 무게(g)와 동일하다고 가정하였다.

저장 중 포장 필름의 팽창 정도를 관찰하기 위해 포장 필름의 정면과 측면은 디지털 카메라(DSC-RX100, Sony Corporation, Tokyo, Japan)로 촬영되었다.

통계 분석

모든 실험 결과는 3회 이상 반복 분석하여 평균값±표준편차로 나타내었다. 결과에 대한 유의성 검증은 SPSS

(Statistical Package for the Social Science, Version 19, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software program을 사용하여 일원분산분석(one-way analysis of variance test, one-way ANOVA)으로 실시하였고 사후 검정은 Duncan's multiple range test를 이용하였다($p < 0.05$). 이원분산분석(two-way ANOVA)은 각두기의 미생물학적 및 이화학적 품질과 포장 안정성에 포장 필름 종류와 저장기간의 상호 작용 효과를 평가하기 위해 실시하였다.

결과 및 고찰

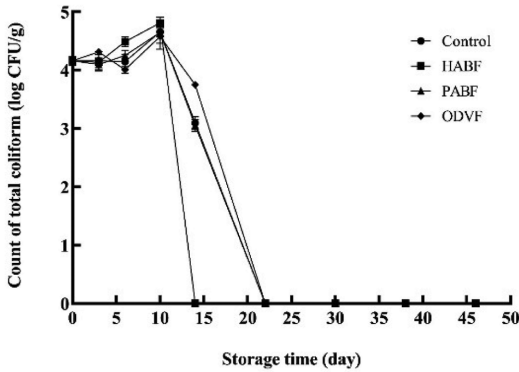
저장 중 각두기의 미생물 수 변화

포장방법 및 저장환경 조건에 따라 김치에 존재하는 미생물 종류와 수는 달라진다(Kim et al., 2020c; Yu et al., 2023). 변온저장 중 다층 밀폐 필름(대조구), 반면적 통기성 필름(HABF 처리구), 부분면적 통기성 필름(PABF 처리구)과 단방향 가스 제거 밸브 부착 필름(ODVF 처리구)으

(A)

Symbol	Storage time (day)								Level of significance		
	0	3	6	10	14	22	30	38		46	
●	Ab	Ab	BCb	Aa	Bc	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Film type ***
■	Ac	Ac	Ab	Aa	Cd	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Storage time ***
▲	Ab	Ab	Bb	Aa	Bc	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Film type × Storage time ***
◆	Abc	Ab	Cd	Aa	Ac	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	

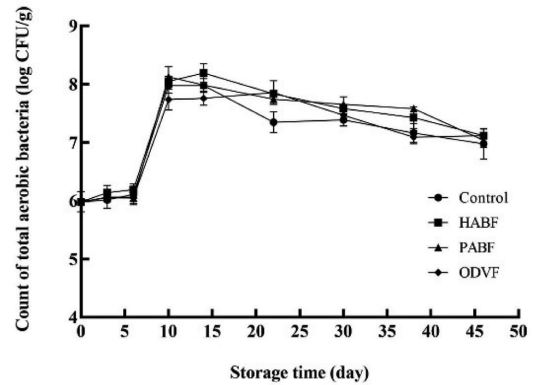
Level of significance: *** $p < 0.001$.



(B)

Symbol	Storage time (day)								Level of significance		
	0	3	6	10	14	22	30	38		46	
●	Ad	Ad	Ad	Ad	A1Ba	A1Ba	Bb	Bb	Bbc	Ac	Film type ***
■	Ac	Ac	Ac	Aab	Aa	Ab	ABc	Ac	Ad	Ad	Storage time ***
▲	Ad	Ad	Ad	Aa	ABa	Ab	Ab	Ab	Ab	Ac	Film type × Storage time **
◆	Ad	Ad	Ad	Ba	Ba	Aa	A1Bb	Bc	Ac	Ac	

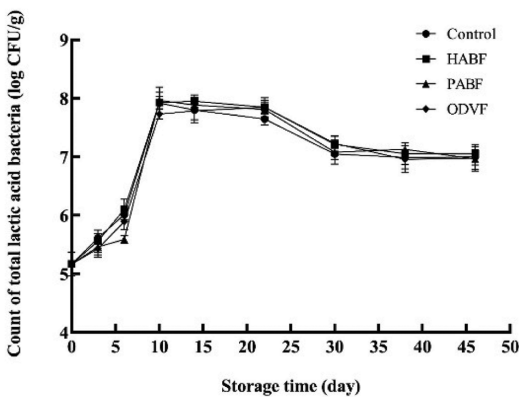
Level of significance: * $p < 0.01$, ** $p < 0.001$.



(C)

Symbol	Storage time (day)								Level of significance		
	0	3	6	10	14	22	30	38		46	
●	Ae	Ad	Ac	Aa	Aa	Aa	Ab	Ab	Ab	Ab	Film type NS
■	Ac	Ad	Ac	Aa	Aa	Aa	Ab	Ab	Ab	Ab	Storage time ***
▲	Ad	Ac	Bc	Aa	Aa	Aa	Ab	Ab	Ab	Ab	Film type × Storage time NS
◆	Ad	Ad	Ac	Aa	Aa	Aa	Ab	Ab	Ab	Ab	

Level of significance: NS, not significant ($p > 0.05$); *** $p < 0.001$.



(D)

Symbol	Storage time (day)								Level of significance		
	0	3	6	10	14	22	30	38		46	
●	Ab	Ab	Ab	Ab	Bb	Aa	Bab	Bab	Bab	Bab	Film type ***
■	Ad	Ad	Ad	Ad	ABcd	Abc	Aab	Aa	Aa	Aa	Storage time ***
▲	Aab	Aab	Ab	Aab	Bab	Aa	Ba	Bab	Bab	Bab	Film type × Storage time **
◆	Ac	Abc	Ac	Aabc	Aa	Aab	Babc	Bab	Ba	Ba	

Level of significance: * $p < 0.01$, ** $p < 0.001$.

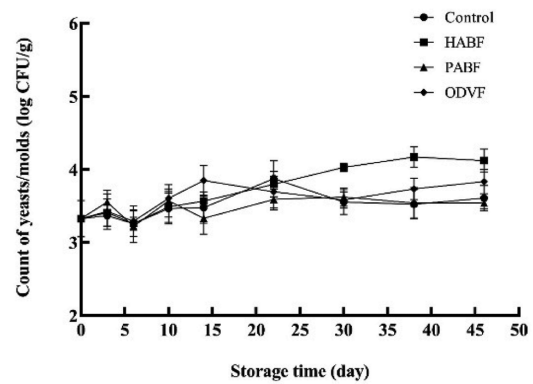


Fig. 2. Changes in the count (log CFU/g) of total coliforms (A), total aerobic bacteria (B), total lactic acid bacteria (C), and yeasts/molds in film-packaged cubed radish kimchi during storage under altering temperature conditions. Control, multilayer airtight film; HABF, half-area breathable film; PABF, partial area breathable film; ODVF, one-way degassing valve-mounted film. Mean values highlighted with different uppercase letters (A-C) differ significantly ($p < 0.05$), considering the same storage time. Mean values highlighted with different lowercase letters (a-f) differ significantly ($p < 0.05$), considering the same treatment.

로 포장한 각두기의 미생물 수 변화는 Fig. 2와 같다. 통성 혐기성 세균인 대장균군은 식품위생 지표 미생물에 속한다 (Tominaga, 2019). 저장 전 총 대장균군 수는 4.2 log CFU/g 이었으며 저장기간이 증가함에 따라 감소하였다. HABF 처리구의 총 대장균군 수는 저장 14일 이후부터, 대조구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 총 대장균군 수는 저장 22일 이후부터 검출한계(1 log CFU/g) 이하로 각각 관찰되었다(Fig. 2A). 김치 발효과정 중 생성되는 유기산의 비헤리형 분자가 세포막을 통과하여 세포 내 pH를 감소시키고 세포 단백질과 DNA 구조를 손상시켜 대장균군이 결국 불활성 된 것으로 판단된다(Stanojević-Nikolić et al., 2016; Jung et al., 2018).

0°C 저장 6일까지 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 총 호기성 세균 수는 6.0-6.2 log CFU/g을 유지하였다(Fig. 2B). 한편 6°C 저장 7-14일에 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 총 호기성 세균 수는 7.8-8.2 log CFU/g까지 증가하였다가 이후 감소하는 경향을 나타냈다.

저장 초기 각두기의 총 유산균 수는 5.2 log CFU/g이었다(Fig. 2C). 총 호기성 세균 수 변화와 유사하게 변은 저장 14일 후 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 총 유산균 수는 7.8-7.9 log CFU/g까지 증가하였다. -3°C 저장 15-46일에 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 총 유산균 수는 7.0 log CFU/g 이상을 유지하였다(Fig. 2C). 본 연구 결과와 유사하게

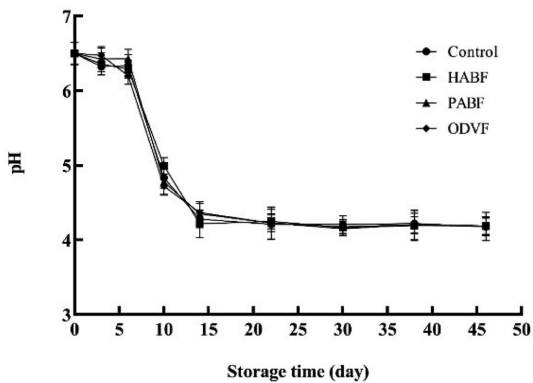
Argyri et al. (2015)은 절임 green table 올리브를 70% N₂ 와 30% CO₂ 조건으로 기체 치환 포장 후 4와 20°C에서 12개월 동안 저장하였을 때 효모의 수 변화와 달리 유산균 수의 변화는 저장 온도에 뚜렷한 영향을 받았다고 보고하였다.

0°C 저장 6일 후 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 효모/곰팡이 수는 3.2-3.3 log CFU/g로 저장 초기에 비해 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2D). 반면 변은 저장 46일 후 HABF 처리구의 효모/곰팡이 수는 4.1 log CFU/g로 대조구, PABF 처리구와 ODVF 처리구와 비교하여 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 이러한 효모/곰팡이 수의 차이는 포장 방법에 기인하는 것으로 판단된다. Cayré et al. (2005)은 식품 포장 필름의 가스 투과도 차이에 의한 headspace 기체 농도 변화가 미생물 성장에 선택적 영향을 미친다고 보고하였다. 한편 유산 발효에 의해 낮아진 pH 환경은 각두기에 존재하는 효모 및 곰팡이 수 변화에 큰 영향을 주지 않았다. 6°C에서 6주 저장 동안 배추김치의 pH는 5.5에서 4.0까지 감소하였지만 효모 수는 3.2-4.6 log CFU/g을 유지하며 pH 감소에 영향을 받지 않았다는 Moon et al. (2019)의 보고는 본 연구 결과와 유사하였다. 김치에서 주로 발견되는 효모는 원부재료로부터 유입되며 *Saccharomyces* 속, *Pichia* 속, *Candida* 속, *Kazachstania* 속 등이 있다(Kang et al., 2019). 본 연구에서 이용한 효모 및 곰팡이 선택배지의 효모와 곰팡이 구분 판독 방법에 기준하여 저장기간 동안 모든 처리구의 각두

(A)

Symbol	Storage time (day)								Level of significance		
	0	3	6	10	14	22	30	38		46	
●	Aa	Aa	Aa	Ab	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Film type NS
■	Aa	Aa	Aa	Ab	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Storage time ***
▲	Aa	Aa	Aa	Ab	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Film type × Storage time NS
◆	Aa	Aa	Aa	Ab	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	

Level of significance: NS, not significant ($p > 0.05$); *** $p < 0.001$.



(B)

Symbol	Storage time (day)								Level of significance	
	0	3	6	10	14	22	30	38		46
●	Af	Af	Af	Ae	ABd	ABc	Bb	Aa	Aa	Film type NS
■	Ad	Ad	Ad	Ac	Ab	Bb	ABa	Aa	Aa	Storage time ***
▲	Ac	Ac	Ac	Ad	Cc	Ab	Aa	Aa	Aa	Film type × Storage time **
◆	Af	Af	Af	Ae	BCd	Bc	Bb	Aa	Aa	

Level of significance: NS, not significant ($p > 0.05$); ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

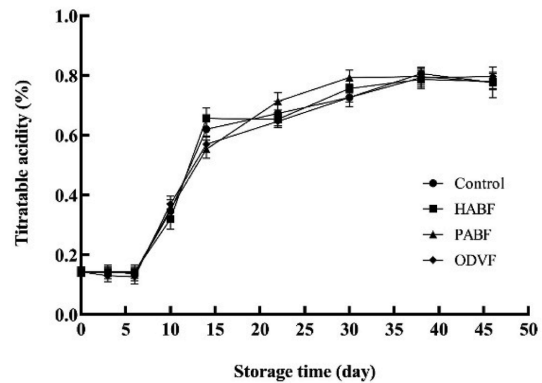


Fig. 3. Changes in the pH (A) and titratable acidity (B) (%) of film-packaged cubed radish kimchi during storage under altering temperature conditions. Control, multilayer airtight film; HABF, half-area breathable film; PABF, partial area breathable film; ODVF, one-way degassing valve-mounted film. Mean values highlighted with different uppercase letters (A-C) differ significantly ($p < 0.05$), considering the same storage time. Mean values highlighted with different lowercase letters (a-f) differ significantly ($p < 0.05$), considering the same treatment.

Table 1. Changes in the instrumental hardness (kg) of film-packaged cubed radish kimchi during storage under altering temperature conditions

Treatment	Storage time (day)									Levels of significance ⁷⁾	
	0	3	6	10	14	22	30	38	46		
Control ¹⁾	0.9±0.1 ^{5)Aa6)}	1.0±0.2 ^{Aa}	1.0±0.1 ^{Aa}	0.9±0.2 ^{Aa}	1.0±0.2 ^{Aa}	0.8±0.2 ^{Aa}	1.0±0.2 ^{Aa}	0.9±0.1 ^{Aa}	0.8±0.2 ^{Aa}	Film type	NS
HABF ²⁾	0.9±0.1 ^{Abc}	1.1±0.1 ^{Aa}	1.0±0.1 ^{Aabc}	1.0±0.2 ^{Aabc}	0.9±0.1 ^{Abc}	1.1±0.2 ^{Aab}	1.0±0.1 ^{Aabc}	0.8±0.2 ^{Ac}	0.9±0.2 ^{Aabc}	Storage time	*
PABF ³⁾	0.9±0.1 ^{Aab}	1.1±0.2 ^{Aa}	1.0±0.2 ^{Aab}	0.9±0.2 ^{Aab}	1.0±0.2 ^{Aab}	1.0±0.2 ^{Aab}	0.8±0.1 ^{Bb}	0.8±0.2 ^{Ab}	0.9±0.2 ^{Aab}	Film type ×	NS
ODVF ⁴⁾	0.9±0.1 ^{Aa}	1.0±0.2 ^{Aa}	0.9±0.1 ^{Aa}	0.9±0.2 ^{Aa}	1.0±0.2 ^{Aa}	0.8±0.1 ^{Aa}	1.0±0.2 ^{Aa}	0.9±0.2 ^{Aa}	0.9±0.1 ^{Aa}	Storage time	

¹⁾Control, multilayer airtight film.²⁾HABF, half-area breathable film.³⁾PABF, partial area breathable film.⁴⁾ODVF, one-way degassing valve-mounted film.⁵⁾Each value is mean±SD.⁶⁾Mean values in the same column (A-B) or row (a-c) followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test ($p<0.05$).⁷⁾Level of significance: NS, not significant ($p>0.05$); * $p<0.05$.**Table 2. Changes in the salinity (%) and reducing sugar content (mg/g) of film-packaged cubed radish kimchi during storage under altering temperature conditions**

Quality parameter	Treatment	Storage time (day)									Levels of significance ⁷⁾	
		0	3	6	10	14	21	31	38	46		
Salinity	Control ¹⁾	1.9±0.2 ^{5)Aa6)}	1.9±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	1.8±0.2 ^{Aa}	1.8±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	Film type	*
	HABF ²⁾	1.9±0.2 ^{Aa}	2.0±0.1 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	2.0±0.1 ^{Aa}	2.0±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	1.9±0.1 ^{Aa}	2.0±0.1 ^{Aa}	2.0±0.2 ^{Aa}	Storage time	NS
	PABF ³⁾	1.9±0.2 ^{Aa}	2.0±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	2.0±0.2 ^{Aa}	1.8±0.1 ^{Aa}	2.0±0.1 ^{Aa}	2.0±0.1 ^{Aa}	2.0±0.1 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	Film type ×	NS
	ODVF ⁴⁾	1.9±0.2 ^{Aa}	1.9±0.2 ^{Aa}	1.9±0.1 ^{Aa}	1.8±0.1 ^{Aa}	1.9±0.1 ^{Aa}	2.0±0.2 ^{Aa}	1.8±0.2 ^{Aa}	1.8±0.2 ^{Aa}	1.8±0.1 ^{Aa}	Storage time	
Reducing sugar content	Control	50.2±2.2 ^{Aa}	47.7±1.8 ^{Aab}	45.1±2.6 ^{Ab}	39.3±3.2 ^{Ac}	29.1±3.6 ^{Ad}	32.3±2.3 ^{Ad}	29.5±2.6 ^{Ad}	28.1±3.6 ^{Ad}	29.5±2.7 ^{Ad}	Film type	NS
	HABF	50.2±2.2 ^{Aa}	47.9±2.6 ^{Aa}	46.7±2.4 ^{Aa}	37.6±3.4 ^{Ab}	31.7±2.8 ^{Ac}	31.6±2.7 ^{Ac}	30.8±2.8 ^{Ac}	30.2±1.1 ^{Ac}	30.3±2.8 ^{Ac}	Storage time	***
	PABF	50.2±2.2 ^{Aa}	46.8±4.0 ^{Aab}	44.2±2.7 ^{Abc}	38.9±3.6 ^{Ac}	32.9±3.2 ^{Ad}	29.8±2.8 ^{Ad}	32.0±3.4 ^{Ad}	27.2±3.0 ^{Ad}	29.7±3.0 ^{Ad}	Film type ×	NS
	ODVF	50.2±2.2 ^{Aa}	47.8±2.2 ^{Aa}	45.6±1.4 ^{Aa}	40.0±3.7 ^{Ab}	31.4±3.1 ^{Ac}	30.1±1.8 ^{Ac}	31.6±2.9 ^{Ac}	28.8±2.6 ^{Ac}	26.8±2.8 ^{Ac}	Storage time	

¹⁾Control, multilayer airtight film.²⁾HABF, half-area breathable film.³⁾PABF, partial area breathable film.⁴⁾ODVF, one-way degassing valve-mounted film.⁵⁾Each value is mean±SD.⁶⁾Mean values in the same column (A) or row (a-d) followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test ($p<0.05$).⁷⁾Level of significance: NS, not significant ($p>0.05$); * $p<0.05$; *** $p<0.001$.

기 시료는 효모가 곰팡이보다 우세하게 존재하였다(data not shown). 포장 필름 종류와 저장기간은 저장 중 깍두기의 총 대장균군, 총 호기성 세균과 효모/곰팡이 수의 변화에 상호작용 효과를 나타냈다($p < 0.01$ 또는 $p < 0.001$).

저장 중 깍두기의 이화학적 품질 변화

김치의 이화학적 품질지표는 숙성도 판단 기준에 이용되고 있다(Lee et al., 2017). 변은 저장 중 MAF, HABF, PABF와 ODVF에 포장한 깍두기 시료의 pH와 적정산도 변화는 Fig. 3에 각각 나타내었다. 저장 초기 깍두기의 pH는 6.5로 관찰되었다. 0°C 저장 6일과 6°C 저장 8일을 거치면서 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 pH는 4.2-4.4로 감소하였다. 그러나 이후 -3°C 저장 동안 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 pH는 4.2 이상을 유지하였다(Fig. 3A). 저장 중 깍두기의 pH 변화에 포장 필름 종류와 저장기간의 상호작용 효과가 유의적으로 확인되지 않았다($p > 0.05$).

저장 전 깍두기의 적정산도는 0.1%이었으며 0°C 저장 6일 동안 모든 처리구의 적정산도는 유의적 변화가 없었다. 이후 6°C 저장 8일 동안 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 적정산도는 0.6-0.7%까지 증가하였다가 -3°C 저장 단계 이후부터 0.6-0.8% 수준을 유지하였다(Fig. 3B). 김치 발효단계는 미숙기, 적숙기, 과숙기와 산패기로 구분되며 적숙기는 pH 4.2-4.5와 적정산도 0.6-0.8%에 도달하였을 때로 알려져 있다(Jang et al., 2015). 본 연구에서 0°C와 6°C 변은 저장 14일 동안 pH와 적정산도 변화 양상은 포장 필름 종류에 따라 다소 차이가 있었지만 MAF, HABF, PABF와 ODVF에 포장한 깍두기 시료는 모두 적숙기에 도달하였다. 또한 -3°C 과냉각 저장 조건에서 30일 이상 경과되어도 적숙 상태의 깍두기는 과숙기에 도달하지 않았다. 따라서 -3°C 과냉각 저장온도는 김치의 pH와 산도 변화를 억제함으로써 적숙 상태 유지 기간을 효과적으로 연장할 수 있을 것으로 판단된다.

변은 저장 46일 동안 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 기계적 경도는 0.8-1.1 kg_f로 나타났으며 처리구 간에 유의적 차이가 확인되지 않았다($p > 0.05$) (Table 1).

변은 저장 중 MAF, HABF, PABF와 ODVF에 포장한 깍두기의 염도와 환원당 함량 변화는 Table 2와 같다. 변은 저장 46일 동안 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 염도는 1.8-2.0%를 유지하였으며 포장 필름의 기체 투과도 차이와 단방향 가스 제거 밸브 부착 여부에 따른 깍두기 시료의 유의적 염도 차이는 확인되지 않았다($p > 0.05$). 저장 초기 깍두기 시료의 환원당 함량은 50.2 mg/g이었다(Table 2). 0°C 저장 6일 후 6°C 저장 8일 동안 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 환원당 함량은 감소하여 저장 14일 차 29.1-32.9 mg/g

으로 나타났다. 한편 -3°C 저장 15-46일 동안 모든 처리구 시료의 환원당 함량은 뚜렷한 감소가 확인되지 않았다. 저장 말기 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 환원당 함량은 26.8-30.3 mg/g으로 처리구 간에 유의적($p > 0.05$) 차이가 없었다. 이를 통해 포장 필름 종류는 저장 중 깍두기의 환원당 함량 변화에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 본 연구 결과와 유사하게 Chung et al. (2002)은 5°C에서 저장 중 다층 필름 포장한 양파김치의 환원당 함량이 저장기간이 증가함에 따라 감소되는 결과를 보고하였다. 김치에 주로 존재하는 환원당은 glucose, fructose와 maltose이며 유산균 에너지 대사에 이용되기 때문에 pH 및 산도 변화와 관계가 있다(Chun et al., 2017; Lee et al., 2019). 따라서 저장 중 김치의 단맛과 신맛 변화는 환원당 함량에 영향을 받는다. 이러한 연구 결과를 토대로 환원당 함량은 저장 중 김치의 숙성도나 품질 안정성을 평가할 때 유용한 지표로 활용될 수 있다.

저장 중 포장 필름 headspace의 O₂/CO₂ 농도와 부피 및 외관 변화

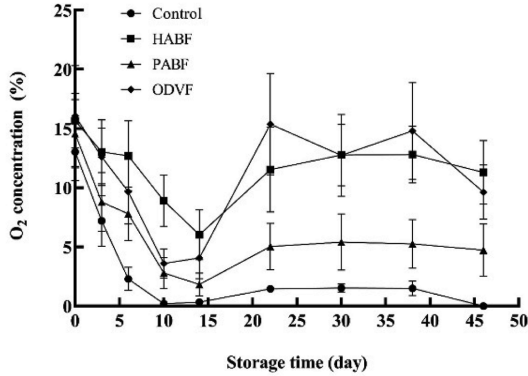
저장 중 김치 포장 필름의 headspace 가스 농도와 부피 변화는 김치에 존재하는 유산균 성장 속도, 저장온도와 포장 필름의 기체 투과도에 의해 영향을 받는다(Cayre et al., 2005). 변은 저장 중 깍두기 시료가 담긴 포장 필름의 headspace O₂와 CO₂ 농도 변화는 Fig. 4에 나타났다. 변은 저장 10일 후 대조구의 headspace O₂ 농도는 다른 포장 처리구들에 비해 빠르게 감소하여 0.2%로 나타났으며 이 headspace O₂ 농도 수준은 저장 말기까지 유지되었다(Fig. 4A). 변은 저장 중 HABF 처리구의 headspace O₂ 농도는 PABF 처리구에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 이는 포장 필름 내부에 통기성 기능을 갖는 면적을 차이로 설명될 수 있다. 변은 저장 14일 후 대조구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 headspace CO₂ 농도는 62.8-81.2%이었다(Fig. 4B). 반면 HABF 처리구 headspace CO₂ 농도는 42.5%로 가장 낮은 값을 보였다. -3°C 저장 22-46일 동안 HABF 처리구 headspace CO₂ 농도는 16.8-22.3%를 유지하며 대조구, PABF 처리구와 ODVF 처리구와 비교하여 유의적인 차이를 나타냈다($p < 0.05$).

포장 필름의 headspace CO₂ 농도 변화 결과와 유사하게 대조구의 필름 부피는 저장기간이 경과함에 따라 유의적으로($p < 0.05$) 증가하였다(Fig. 5). 변은 저장 46일 후 대조구의 필름 부피는 893.3 mL를 나타냈으며 소비자에게 수용될 수 없을 정도의 포장 팽창이 관찰되었다(Fig. 5와 Fig. 6). 변은 저장 중 PABF 처리구의 필름 부피도 850.0 mL까지 증가하여 심한 포장 팽창이 나타났다. 이를 통해 본 연구에서 이용한 부분면적 통기성 필름은 장기 저장 중 깍두기의 포장 팽창 방지에 뚜렷한 효과가 없는 것으로 확인되었다. 반면 변은 저장 46일 동안 HABF 처리구

(A)

Symbol	Storage time (day)									Level of significance
	0	3	6	10	14	22	30	38	46	
●	Aa	Bb	Cc	Ccd	Cod	Bed	Bed	Bcd	Cd	Film type ***
■	Aa	Aab	Aab	Abc	Ac	Aub	Aab	Aab	Aab	Storage time ***
▲	Aa	AHb	Bb	BCc	BCc	Bbc	Bbc	Bbc	Bbc	Film type × Storage time **
◆	Aa	Aab	ABbc	Bd	ABcd	Aab	Aab	Aab	Abc	

Level of significance: * $p<0.01$, ** $p<0.001$.



(B)

Symbol	Storage time (day)									Level of significance
	0	3	6	10	14	22	30	38	46	
●	Af	Ae	Ad	Ac	Aa	Ab	Ab	Ab	Aa	Film type ***
■	Ae	Bdc	Bde	Bb	Cx	Dbe	Dcd	Dbc	Dbc	Storage time ***
▲	Ac	Ad	Ad	ABc	Aa	Bb	Bb	Bb	Bb	Film type × Storage time ***
◆	Ac	ABdc	Ad	Cb	Ba	Cc	Cc	Cc	Cb	

Level of significance: ** $p<0.001$.

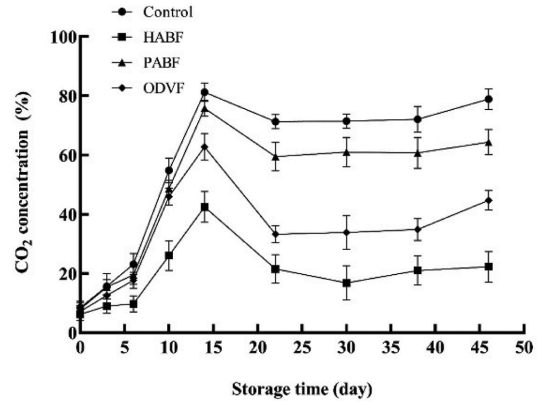


Fig. 4. Changes in the headspace O₂ (A) and CO₂ (B) concentrations (%) in packaging films for cubed radish kimchi during storage under altering temperature conditions. Control, multilayer airtight film; HABF, half-area breathable film; PABF, partial area breathable film; ODVF, one-way degassing valve-mounted film. Mean values highlighted with different uppercase letters (A-D) differ significantly ($p<0.05$), considering the same storage time. Mean values highlighted with different lowercase letters (a-f) differ significantly ($p<0.05$), considering the same treatment.

Symbol	Storage time (day)									Level of significance
	0	3	6	10	14	22	30	38	46	
●	Ag	Cg	Cg	Bf	Ae	Ad	Ac	Ab	Aa	Film type ***
■	Ag	Cg	Bf	Cc	Cc	Da	Cd	Cc	Db	Storage time ***
▲	Ah	Bg	Af	Ac	Ad	Bc	Ab	Aa	Ba	Film type × Storage time ***
◆	Ag	Af	Bc	Cd	Bb	Cc	Bc	Bc	Ca	

Level of significance: *** $p<0.001$.

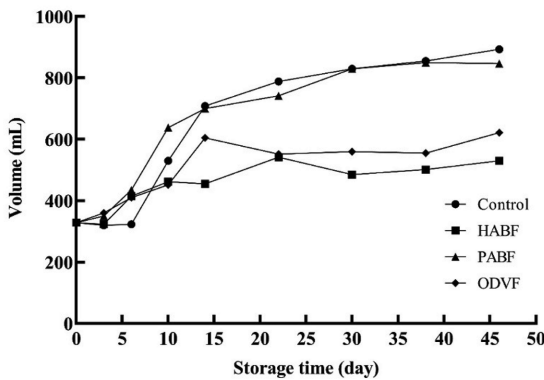


Fig. 5. Changes in volume (mL) in packaging films for cubed radish kimchi during storage under altering temperature conditions. Control, multilayer airtight film; HABF, half-area breathable film; PABF, partial area breathable film; ODVF, one-way degassing valve-mounted film. Mean values highlighted with different uppercase letters (A-D) differ significantly ($p<0.05$), considering the same storage time. Mean values highlighted with different lowercase letters (a-h) differ significantly ($p<0.05$), considering the same treatment.

의 필름 부피는 ODVF 처리구와 비교하여 유의적으로 ($p<0.05$) 작게 관찰되었으며 541.7 mL 이하를 유지하였다

(Fig. 5). 또한 저장 46일 후 HABF 처리구의 포장 팽창은 소비자의 수용성에 영향을 미치지 않을 정도의 미미함이 관찰되었다(Fig. 6). 이원분산분석 결과 포장 필름 종류와 저장기간은 저장 중 각두기의 포장 필름 headspace O₂/CO₂ 농도와 부피 변화에 상호작용 효과를 나타냈다 ($p<0.01$ 또는 $p<0.001$).

비살균 김치류는 일반적인 냉장 온도에서 저장 중 이형 유산 발효(heterolactic fermentation)에 의해 유산, 초산, 알코올과 CO₂가 생성되며 특히 포장 필름 내부에 축적된 CO₂는 포장 팽창이나 파손 등 김치 상품성에 부정적 영향을 미친다(Lee et al., 2001; Kim et al., 2020a). 따라서 반면적 통기성 필름 포장과 -3°C 과냉각 저장의 병용은 CO₂ 흡착제 또는 가스 제거 밸브 부착 없이 포장 필름의 headspace에 CO₂ 축적과 김치의 과숙을 효과적으로 제어할 수 있는 것으로 사료된다. 향후 실제 유통 현장에서 반면적 통기성 필름 포장과 과냉각 저장 기술을 적용한 각두기의 관능학적 품질평가 연구가 추가적으로 필요하다.

요약

본 연구는 micro-nano-foamed structure 통기성 필름 포장과 병용 저장이 각두기의 미생물학적 및 이화학적 품질과 포장 안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 0°C 저장 6일 후 6°C 저장 8일 동안 MAF(대조구), HABF, PABF와 ODVF로 포장된 각두기 시료의 총 유산균 수는 7.8-7.9



Fig. 6. Appearance of different packaging films for cubed radish kimchi during storage under altering temperature conditions.

log CFU/g까지 증가하였다가 이후 -3°C 저장 동안 감소하는 경향을 나타냈다. 변온 저장 46일 후 HABF 처리구의 효모/곰팡이 수는 대조구, PABF 처리구, ODVF 처리구와 비교하여 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 변온 저장 14일 후 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구는 4.2-4.4의 pH와 0.6-0.7%의 적정산도를 보이며 적숙 상태를 나타냈다. 이후 -3°C 저장 32일 동안 모든 처리구의 pH와 적정산도는 4.2-4.3과 0.6-0.8%를 각각 유지하였다. 변온 저장 46일 후 대조구, HABF 처리구, PABF 처리구와 ODVF 처리구의 환원당 함량은 저장 초기에 비해 약 3/5 수준으로 감소하였지만 포장 필름 종류에 따른 유의적 차이는 없었다($p > 0.05$). 변온 저장 중 대조구, PABF 처리구와 ODVF 처리구에 비해 HABF 처리구에서 유의적으로($p < 0.05$) 낮은 포장 필름 headspace CO₂ 농도와 유의적으로($p < 0.05$) 작은 필름 부피가 관찰되었다. 결론적으로 반면적 통기성 필름 포장과 -3°C 과냉각 저장의 병용은 장기 저장 중 포장 팽창 없이 각두기의 적숙 유지 기간 연장을 위해 활용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기술사업화지원사업(과제번호: 821013-3)의 지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

References

AOAC. 2012. Official Method of Analysis. 20th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

AOAC. 2019. Official Method of Analysis. 21th ed. Association of Official Analytical Chemists, Rockville, MD, USA.

Argyri AA, Nisiotou AA, Pramateftaki P, Doulgeraki AI, Panagou EZ, Tassou CC. 2015. Preservation of green table olives fermented with lactic acid bacteria with probiotic potential under modified atmosphere packaging. *LWT-Food Sci. Technol.* 62: 783-790.

Cayré ME, Garro O, Vignolo G. 2005. Effect of storage temperature and gas permeability of packaging film on the growth of lactic acid bacteria and *Brochothrix thermosphacta* in cooked meat emulsions. *Food Microbiol.* 22: 505-512.

Choi EJ, Park HW, Kim SB, Ryu SM, Lim JH, 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.

Choi YK, Kang JH, Lee YW, Seo YE, Lee HY, Kim SJ, Lee JY, Ha JM, Oh HM, Kim YJ, Byun KH, Ha SD, Yoon YH. 2020. Quantitative microbial risk assessment for *Clostridium perfringens* foodborne illness following consumption of kimchi in South Korea. *Food Sci. Biotechnol.* 29: 1131-1139.

Chun BH, Kim KH, Jeon HH, Lee SH, Jeon CO. 2017. Pangenomic and transcriptomic analyses of *Leuconostoc mesenteroides* provide insights into its genomic and metabolic features and roles in kimchi fermentation. *Sci. Rep.* 7: 11504.

- Chung DO, Park ID, Kim JO. 2002. Quality changes of *Rosemary-onion Kimchi* by packaging materials during storage. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 1043-1047.
- Goksen G, Altaf QS, Farooq S, Bashir I, Cappozzi V, Guruk M, Cappozzi V, Guruk M, Bavaro SL, Sarangi PK. 2023. A glimpse into plant-based fermented products alternative to animal based products: Formulation, processing, health benefits. Food Res. Int. 113344.
- Grujović MŽ, Mladenović KG, Semedo-Lemsaddek T, Laranjo M, Stefanović OD, Kocić-Tanackov SD. 2022. Advantages and disadvantages of non-starter lactic acid bacteria from traditional fermented foods: Potential use as starters or probiotics. Compr. Rev. Food. Sci. Food Saf. 21: 1537-1567.
- Jaisan C, An DS, Lee DS. 2018. Application of physical gas absorbers in manipulating the CO₂ pressure of kimchi package. J. Food Sci. 83: 3002-3008.
- James C, Seignemartin V, James SJ. 2009. The freezing and supercooling of garlic (*Allium sativum* L.). Int. J. Refrig. 32: 253-260.
- Jang JY, Lee ME, Lee HW, Lee JH, Park HW, Choi HJ, Pyun YR, Kim TW. 2015. Extending the shelf life of kimchi with *Lactococcus lactis* strain as a starter culture. Food Sci. Biotechnol. 24: 1049-1053.
- Jung MY, Kim TW, Lee CS, Kim JY, Song HS, Kim YB, Ahn SW, Kim JS, Roh SW, Lee SH. 2018. Role of jeotgal, a Korean traditional fermented fish sauce, in microbial dynamics and metabolite profiles during kimchi fermentation. Food Chem. 265: 135-143.
- Jung SR, Hwang HL, Lee JH. 2019. Effect of lactic acid bacteria on phenyllactic acid production in kimchi. Food Control 106: 106701.
- Kang MR, Park SY, Shin BS, Hong SM, Choi YJ, Chun HH. 2022. Effect of nano-foamed structure film packaging on the quality of young radish (*Raphanus sativus* L.) kimchi during storage under supercooled and refrigerated conditions. Korean J. Food Preserv. 29: 677-691.
- Kang SE, Kim MJ, Kim TW. 2019. Diversity and role of yeast on *Kimchi* fermentation. J. Korean Soc. Food Cult. 34: 201-207.
- Kang TY, You YS, Jun SJ. 2020. Supercooling preservation technology in food and biological samples: A review focused on electric and magnetic field applications. Food Sci. Biotechnol. 29: 303-321.
- Kim EJ, Seo SH, Park SE, Lim YW, Roh SW, Son HS. 2020b. Initial storage of kimchi at room temperature alters its microbial and metabolite profiles. LWT-Food Sci. Technol. 134: 110160.
- Kim JS, Choi DS, Kim YH, Son JY, Park CW, Park SH, Hwang Y. 2021. Supercooling as a potentially improved storage option for commercial kimchi. J. Food Sci. 86: 749-761.
- Kim JY, Kim BS, Kim JH, Oh SI, Koo JM. 2020a. Development of dynamic model for real-time monitoring of ripening changes of kimchi during distribution. Foods 9: 1075.
- Kim KH, Chun BH, Baek JH, Roh SW, Lee SH, Jeon CO. 2020c. Genomic and metabolic features of *Lactobacillus sakei* as revealed by its pan-genome and the metatranscriptome of kimchi fermentation. Food Microbiol. 86: 103341.
- Koide S, Ito T, Osuga R, Orikasa T. 2022. Assessment of cumulative freezing frequency of supercooled fresh-cut onion: Effects of sample size, supercooling temperature, and supercooled storage time. J. Agric. Food Res. 10: 100440.
- Lee DS, Shin DH, Lee DU, Kim JC, Cheigh HS. 2001. The use of physical carbon dioxide absorbents to control pressure buildup and volume expansion of kimchi packages. J. Food Eng. 48: 183-188.
- Lee HG, Jeong SY, Park JY, Yoo SR. 2019. 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 SY, Yoo SR. 2023. Development of a calcium hydroxide-dye kimchi ripening indicator and its application in kimchi packaging. Food Chem. 400: 134039.
- 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.
- Lee JH, Choi EJ, Chang JY, Song KB, Chun HH. 2021. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) and supercooling storage in leaf mustard (*Brassica juncea* L.) kimchi: Modelling of microbial activity and preservation of physicochemical properties. LWT-Food Sci. Technol. 145: 111325.
- Moon EW, Kim SY, Dang YM, Park B, Park EJ, Song HY, Yang J, Yoon SR, Seo HY, Ha JH. 2019. Comparison of microbial and physicochemical properties between *pogi Kimchi* and *mat Kimchi*. J. Korean Soc. Food Cult. 34: 217-223.
- Osuga R, Koide S, Sakurai M, Orikasa T, Uemura M. 2021. Quality and microbial evaluation of fresh-cut apples during 10 days of supercooled storage. Food Control 126: 108014.
- Park SY, Kang MR, Yun SM, Eun JB, Shin BS, Chun HH. 2022. Changes and machine learning-based prediction in quality characteristics of sliced Korean cabbage (*Brassica rapa* L. *pekinensis*) kimchi: Combined effect of nano-foamed structure film packaging and subcooled storage. LWT. 171: 114122.
- Shao P, Liu L, Yu J, Lin Y, Gao H, Chen H, Sun P. 2021. An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring. Trends Food Sci. Technol. 118: 285-296.
- Song HS, Whon TW, Kim JS, Lee SH, Kim JY, Kim YB, Choi HJ, Rhee JK, Roh SW. 2020. Microbial niches in raw ingredients determine microbial community assembly during kimchi fermentation. Food Chem. 318: 126481.
- Stanojević-Nikolić S, Dimić G, Mojević L, Pejin J, Djukić-Vuković A, Kocić-Tanackov S. 2016. Antimicrobial activity of lactic acid against pathogen and spoilage microorganisms. J. Food Process. Preserv. 40: 990-998.
- Tominaga T. 2019. Rapid detection of coliform bacteria using a lateral flow test strip assay. J. Microbiol. Methods 160: 29-35.
- Yang X, Balamurugan S, Gill CO. 2011. Effects on the development of blown pack spoilage of the initial numbers of *Clostridium estertheticum* spores and *Leuconostoc mesenteroides* on vacuum packed beef. Meat Sci. 88: 361-367.
- Yu HJ, Park SH, Kim EH, Choi YJ, Min SG. 2023. Effect of headspace gas composition in kimchi packaging on the quality characteristics of kimchi. J. Food Sci. Technol. 60: 1-9.

Author Information

박소윤: 세계김치연구소 실용화기술연구단 학생연구원

전남대학교 융합식품바이오공학과 대학원생
(박사과정)

윤석민: 세계김치연구소 실용화기술연구단 학생연구원
전남대학교 융합식품바이오공학과 대학원생
(박사과정)

강미란: 세계김치연구소 실용화기술연구단 연구원
전남대학교 식품영양학과 대학원생(박사과정)

은종방: 전남대학교 융합식품바이오공학과 교수

천호현: 세계김치연구소 실용화기술연구단 선임연구원