

기체 치환 포장(Modified Atmosphere Packaging)에 의한 생굴 (*Crassostrea gigas*)의 저장성 연장

조두민 · 이도하 · 박슬기¹ · 오도경 · 조경진 · 원동훈 · 박건우 · 송미루 · 장예빈 · 노소연 · 김영목*

부경대학교 식품공학과, ¹한국식품연구원 스마트제조사업단

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Shelf-Life Extension of Raw Oysters *Crassostrea gigas*

Du-Min Jo, Do-Ha Lee, Seul-Ki Park¹, Do Kyung Oh, Kyung-Jin Cho, Dong-Hoon Won, Geon-Woo Park, Mi-Ru Song, Ye-Bin Jang, So-Yeon Noh and Young-Mog Kim*

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

¹Smart Food Manufacturing Project Group, Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Republic of Korea

Pacific oysters *Crassostrea gigas* are a popular shellfish in the Republic of Korea. However, due to their abundant moisture and nutrient content, oysters are susceptible to microbiological growth and biochemical changes, which lead to quality degradation. Therefore, the present study aimed to investigate the effectiveness of modified atmosphere packaging (MAP) in maintaining the quality of raw oysters during storage. Microbiological and physicochemical parameters such as pH, glycogen content, soluble protein, turbidity, and volatile basic nitrogen (VBN) were analyzed for oysters stored under various gas compositions and storage periods. The results showed that there was no significant increase in viable cell count in MAP oysters after six days in MAP oysters. Moreover, the physicochemical quality of non-MAP oysters deteriorated rapidly, whereas the quality of MAP oysters were maintained during storage. This study suggests that MAP can be an effective technique for maintaining the freshness of raw oysters during distribution and storage, and may also be useful for extending the shelf-life and maintaining the quality of other seafood products.

Keywords: Modified atmosphere packaging, MAP, Shelf-life, Raw oyster

서론

국내 수산물 중 참굴(Pacific oyster *Crassostrea gigas*)은 산업적으로 매우 주요한 품목 중 하나이며, 국내 패류 총 생산량 중 약 70% 이상을 차지하고 있다. 주로 11월부터 4월까지 생굴의 형태로 많이 유통되고 있으며(Kang et al., 2016) 특유의 향과 맛, 그리고 영양학적 우수성까지 더불어 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 많이 소비되는 주요 수산물이다(Fang et al., 2015; Lee et al., 2021, 2022). 하지만 미생물적인 위해요소를 제어할 수 있는 공정이 포함되지 않은 생굴 형태로의 섭취가 대부분이며 패류의 filterfeeder 특성상 미생물에 의한 감염이 매우 우려

된다. 또한 국내에서는 생굴을 봉지굴의 형태로 충전수와 함께 포장하여 유통하고 있으며 굴은 수분과 영양분이 풍부하여 부패가 쉽게 발생할 수 있다(Jeong et al., 2015; Gokoglu, 2020). 따라서 굴의 품질 유지 기간 및 유통기한을 연장시키기 위한 다양한 연구가 수행되었다. 고압(high pressure) 처리(Cao et al., 2017), UV 처리(Lee et al., 2020) 및 인공정화(Jeong et al., 2021), 오존처리(Hernández et al., 2018) 및 천연물 유래 물질의 첨가(Liu et al., 2016) 등의 다양한 기술들이 연구되어 왔다. 일반적으로 굴은 가공되지 않은 원물 형태로 제조 및 유통되기 때문에 이러한 생굴의 특성을 해치지 않고 저장기간을 연장할 수 있는 기술이 유효하며 본 연구에서는 기체치환 포장(modi-

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5832 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: ymkim@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0512>

Korean J Fish Aquat Sci 56(4), 512-519, August 2023

Received 16 March 2023; Revised 9 June 2023; Accepted 23 June 2023

저자 직위: 조두민(대학원생), 이도하(대학원생), 오도경(대학원생), 원동훈(대학원생), 박건우(대학원생), 송미루(대학원생), 장예빈(대학원생), 노소연(대학원생), 박슬기(박사), 김영목(교수)

fied atmosphere packaging, MAP)을 이용하여 국내에 주로 유통되는 봉지굴에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 포장은 식품의 물리화학적 변화, 제품의 품질 및 안전성 저하를 초래하는 품질학적 변화 및 물리적/기계적 손상으로부터 보호하는 역할을 한다(Tsironi and Taoukis, 2018). 특히 미생물학적 변화에 의해 부패하기 쉽고 관능학적 및 이화학적 품질 저하가 빠르게 일어나는 수산물의 경우 포장 기능에 대한 중요성이 커지고 있다(Singh et al., 2016; Laorenza et al., 2022). 따라서 수산물에 적용하기 위한 포장 기술로, MAP, 진공포장(vacuum packaging), 능동포장(active packaging) 및 지능형 포장(intelligent packaging)에 관한 연구 등이 이루어지고 있다(Kontominas et al., 2021). 그 중 MAP는 포장 시 기체를 치환하여 포장 용기 중 식품 주변의 기체 조성을 조정하는 기술로써, 다양한 식품 원료에 적용되어 효과적인 것으로 연구되어 있다. 특히, MAP가 수산물에 미치는 영향을 평가한 연구로는 Sezer et al. (2022)이 MAP를 이용하여 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*) 및 대서양 고등어(*Trachurus trachurus*)의 냉장 보관 중 biogenic amine 생성 억제 효과를 확인하였으며, Li et al. (2020)은 MAP 포장된 참복(*Takifugu obscurus*)의 volatile basic nitrogen (VBN), trimethylamine 및 thiobarbituric acid reactive substances의 생성이 억제됨을 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 충전수와 함께 포장되는 생굴을 MAP로 포장하여 봉지굴 상층부의 기체 조성을 치환하여 포장한 뒤 MAP 포장이 충전수와 굴에 미치는 영향을 연구하고자 하였다. 또한, MAP가 봉지굴에 미치는 영향을 평가하기 위하여 생굴의 일반세균수, pH, 글리코겐 함량 및 VBN 등의 품질지표의 변화를 분석하여 효과적인 MAP 조건을 도출하고 MAP가 생굴의 품질 유지에 미치는 영향에 대해서 조사하였다.

재료 및 방법

시료준비 및 기체 치환 포장

본 연구에서 사용된 시료는 경남 통영시 소재의 양식장에서 수확 후 1일간 해감한 패각이 온전히 붙어 있는 각굴을 구매하였다. 1월에 수확한 각굴을 이용하였으며, 각고 및 각장이 각각 9.6 ± 1.8 cm 및 4.3 ± 1.1 cm인 것을 선별하여 실험에 사용하였다. 각굴은 10°C 이하에서 2시간 이내 실험실로 운송하였다. 굴은 여과 섭이 특성으로 인해 미생물의 오염도가 높아 식중독 발생 위험이 있으며(Park et al., 2020) 각굴을 구매한 박신장 및 봉지굴 제조업체의 공정을 재현하여 MAP 포장의 효과를 연구하기 위해 해감과정을 수행하였다. 해감된 각굴은 탈각 후 조건에 맞게 MAP로 봉지굴 형태로 포장하였다. 생굴 100 g과 충전수 300 mL를 폴리에틸렌 포장지에 함께 포장하였으며, 충전수는 인공해수와 담수를 2:1 비율로 혼합하여 멸균하여 사용하였다.

기체 치환 포장은 MAP 장치(TPS-TR1; Total Packaging System, Hwaseong, Korea)를 이용하여 기체 조성 비율을

조정하여 포장하였다(Table 1). 대조구로는 일반 대기 조성($\text{N}_2:\text{O}_2:\text{CO}_2=78:21:1$)으로 포장하였고 각 기체 조성에 따른 영향을 확인하기 위한 실험구로 N_2 는 90, 80, 70 및 60%으로 CO_2 는 10, 20, 30 및 40%의 비율로 조정하여 포장 후 $4 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 보관하였다. 다양한 선행연구에서 수산물 MAP 조건의 O_2 수준이 저하 또는 제거됨에 따라 호기성 미생물의 생육이 억제되고 VBN 함량의 증가폭이 적어짐에 대해 보고하였으며(Özogul et al., 2004; Babic Milijasevic et al., 2019; Monteiro et al., 2020), 이에 따라 본 연구에서는 N_2 및 CO_2 를 이용하여 기체 조성 비율을 조정하였다.

일반세균수

MAP 굴 시료의 일반세균수 분석은 식품공전(MFDS, 2022)의 일반시험법 중 미생물 시험법에 준하는 방법으로 수행하였다. 생굴 시료 25 g에 0.1 M phosphate buffer saline (PBS; pH 7.2)을 225 mL 가하여 10배 희석한 후 stomacher (BagMixer 400 VW; Interscience, Saint Nom, France)를 이용하여 2분간 균질화하였다. 균질화된 시료 1 mL를 취하여 십침희석법에 따라 희석하고 각 단계 희석액을 PCA (plate count agar; Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 분주하여 접종한 후 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 에 48 ± 2 시간 동안 배양 후 생성된 집락수를 계수하였다.

pH

기체 치환 조성별 저장기간에 따른 생굴 및 충전수의 pH 변화를 분석하기 위해 pH meter (Orion Star A211; Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하였다. 5 g의 생굴 시료와 증류수 45 mL를 혼합하여 균질화 한 후 이를 측정기에 사용하였다.

Glycogen 함량

글리코겐 함량 분석을 위해 anthrone-sulfate solution을 이용한 비색반응으로 정량하였으며 Anacleto et al. (2014)의 방법을 일부 변형하여 사용하였다. 0.5 g의 균질화된 생굴 시료에 30%

Table 1. The gas composition of general packaging (GP) and modified atmosphere packaging (MAP) for raw oyster *Crassostrea gigas*

Sample code	% of different gases		
	% Nitrogen	% Oxygen	% Carbon dioxide
GP ¹	78	21	1
MAP 90-10	90	-	10
MAP 80-20	80	-	20
MAP 70-30	70	-	30
MAP 60-40	60	-	40

¹GP, General packaging; MAP 90-10, Modified atmosphere packaging condition by 10% CO_2 + 90% N_2 ; MAP 80-20, 20% CO_2 +80% N_2 ; MAP 70-30, 30% CO_2 +70% N_2 ; MAP 60-40, 40% CO_2 +60% N_2 .

KOH 용액 5 mL를 가하여 95°C에서 20분간 증탕한 후 포화 Na_2SO_4 용액 0.5 mL 및 95% ethanol 5 mL를 첨가하여 95°C에서 다시 15분간 증탕한 뒤 방냉한 시료를 원심분리(1,259 g, 10 min)하였다. 그 후 상등액을 제거한 침전물에 2 mL의 증류수와 99% ethanol 2.5 mL를 첨가하고 원심분리한 뒤, 5 M HCl 2 mL를 넣고 완전히 용해시킨 후 0.5 M NaOH로 중화하여 증류수를 이용하여 50 mL로 정용한 것을 시료 용액으로 사용하였다. 시료 용액 5 mL에 0.2% anthrone-sulfate solution을 10 mL 가하고 95°C에서 10분간 증탕한 뒤 방냉하여 microplate reader (Synergy HTX; Biotek, Winooski, VT, USA)를 이용하여 620 nm에서 흡광도를 측정하였다. Glycogen 함량은 glucose를 표준물질로 작성한 표준곡선에 따라 정량하였으며, glycogen 전환계수 0.9를 곱하여 환산하였다.

총진수의 가용성 단백질

총진수의 가용성 단백질 함량은 Biuret assay을 이용하여 분석하였다(Jiang et al., 2019). 1 mL의 총진수에 4 mL의 biuret 시약(Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 넣고 혼합하여, 실온에서 30분간 방치한 후 microplate reader (Biotek, Synergy HTX)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 가용성 단백질 함량은 bovine serum albumin (Sigma Aldrich)을 표준 단백질로 작성한 표준 곡선에 따라 정량하였다.

총진수의 탁도

총진수의 탁도는 휴대용 탁도계(Hanna HI 93414; Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA)를 사용하여 측정하였으며, 전용 용기에 총진수 약 10 mL를 분주하여 측정한 뒤 0–1,000 NTU (nephelometric turbidity unit)로 나타내었다.

휘발성 염기 질소

휘발성 염기 질소(volatile basic nitrogen, VBN)는 식품공전(MFDS, 2022)의 미량화산(conway)법을 일부 변형하여 측정하였다. 균질화된 생굴 시료 10 g에 증류수 50 mL를 가하여 30분간 교반하여 침출하였다. 침출된 용액은 원심분리(1,100 g, 10 min)하여 상등액을 취한 후 이를 여과하여 5% H_2SO_4 용액을 이용해 pH 4.5로 보정 후 100 mL로 정용한 것을 시료 용액으로 이용하였다. Conway의 내실에 0.01 N H_2SO_4 1 mL, 외실에는 시료 용액과 포화 K_2SO_4 를 각각 1 mL씩 첨가한 후 덮개를 덮고 외실의 시험 용액과 포화 용액을 섞어 25°C에서 1시간 반응시켰다. 이후 내실에 Brunswick 지시약을 한 방울 가한 후 마이크로뷰렛을 이용하여 0.01 N NaOH로 적정한 후, 다음과 같은 계산식으로 산출하였다. 각 실험은 3회 반복하여 실시하였다.

휘발성 염기 질소(mg/100 g)=

$$\frac{(\text{시료 적정치}-\text{대조구 적정치}) \times 0.14 \times \text{역가} \times \text{희석배수}}{\text{시료량 (g)}} \times 100$$

통계분석

본 연구에서 수행한 모든 실험은 3회 반복하여 진행하였으며 모든 측정치는 평균±표준편차로 나타내었다. 실험 결과들의 유의성 검증을 위해 SPSS 27 (Statistical Package for Social Science, Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 수행한 후, $P < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

일반세균수

MAP 기체조성별 포장된 봉지굴의 4°C 저장 기간에 따른 일반세균수 변화는 Fig. 1과 같다. MAP 포장을 하지 않은 생굴은 초기 1.69 log CFU/g으로 시작하여 일반 대기 조성으로 포장된 대조구(general packaging, GP)의 경우 저장 1일차에 2.69 log CFU/g에 도달하였으며 이후 6일차에 3.32 log CFU/g까지 증가하였다. Son et al. (2014)에 따르면 생굴의 초기 일반세균수의 경우 2.36–2.68 log CFU/g이며 5°C에서 6일간 저장 시 3.5 log CFU/g 이상, 8일간 저장 시 4.0–4.34 log CFU/g으로 증가한다고 보고되어 있다. 본 연구에서 생굴의 초기 일반세균수는 수확 후 1일간 해감이 진행되면서 일부 정화가 진행된 것으로 사료된다. Jeong et al. (2021)은 특수 제작한 수조 내에서 해수를 연속적으로 살균하여 살아있는 굴에 지속적으로 공급한 결과 인공정화의 효과를 나타내어 미생물학적인 오염도가 감소하였다고 보고한 바 있다. 또한, Lee et al. (2020)은 인공정화하지 않은 생굴의 초기 균수는 2.11 log CFU/g, 인공정화 한 생굴의

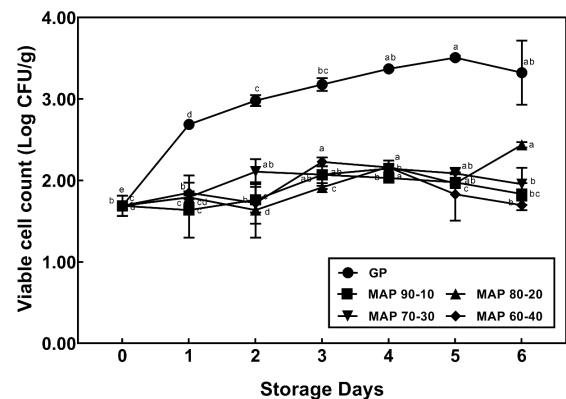


Fig. 1. Changes in viable cell count of raw oyster *Crassostrea gigas* under the modified atmosphere package condition stored at 4°C. GP, General packaging; MAP 90-10, Modified atmosphere packaging condition by 10% CO_2 +90% N_2 ; MAP 80-20, 20% CO_2 +80% N_2 ; MAP 70-30, 30% CO_2 +70% N_2 ; MAP 60-40, 40% CO_2 +60% N_2 .

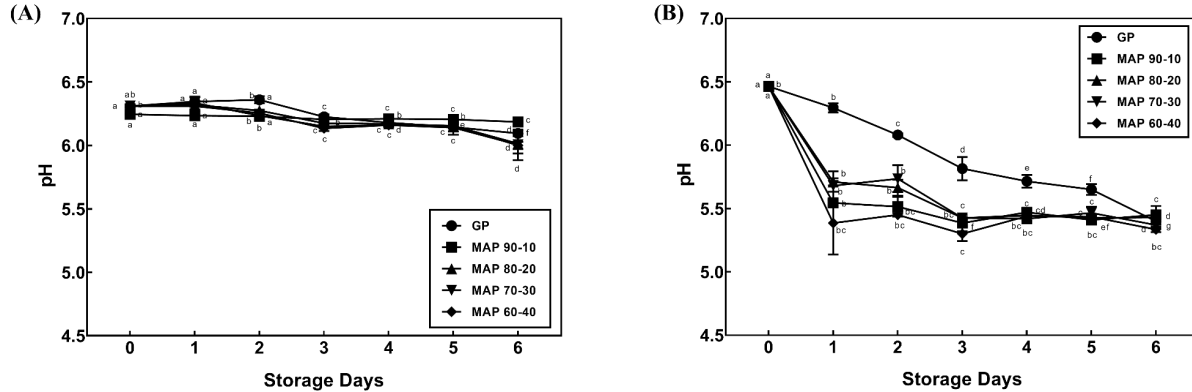


Fig. 2. Changes in pH of raw oyster *Crassostrea gigas* (A) and packaging water (B) under the modified atmosphere package condition stored at 4°C. GP, General packaging; MAP 90-10, Modified atmosphere packaging condition by 10% CO₂+90% N₂; MAP 80-20, 20% CO₂+80% N₂; MAP 70-30, 30% CO₂+70% N₂; MAP 60-40, 40% CO₂+60% N₂.

초기 균수는 1.65 log CFU/g으로, 인공정화 처리를 통해 미생물학적 오염도를 감소시키고 생굴의 저장성 증진 효과를 나타낼 수 있는 것으로 보고하였다. 이러한 결과에 따라, 양식장에서 수확 후 1일간 해감과정이 진행된 각굴에서는 일부 미생물학적인 오염요인이 정화되거나 제거되어 낮은 미생물 오염도를 나타낸 것으로 판단된다.

MAP 90-10, 80-20, 70-30 및 60-40 (이하 MAP 1-4)시료는 저장 6일차에 일반세균수가 각각 2.07, 2.17, 2.15 및 2.23 log CFU/g으로 초기 균수 대비 유의미한 증가를 나타내지 않았다. Lekjing and Venkatachalam (2018)은 MAP 포장을 통해 굴의 일반세균수 및 *Pseudomonas* spp.의 성장이 저해되는 것을 확인하였으며 이는 MAP 포장에 이용된 CO₂가 미생물의 대사과정의 O₂ 역할을 대신하면서 전반적으로 미생물의 대사활동을 억제하여 저장기간 중 미생물 성장을 억제하는 것으로 보고하였다(Sivertsvik et al., 2002). 또한 CO₂는 충전수에 용해되어 carbonic acid가 생성되면서 pH가 낮아지고, 용해된 산소 비율이 감소함에 따라 미생물 성장을 억제하는 것으로 보고되어 있다(Kimbuathong et al., 2020).

pH

pH는 굴의 신선도를 결정하는 필수적인 지표 중 하나로, 생굴에 함유되어 있는 다량의 glycogen이 해당과정을 거쳐 젖산을 생성하여 저장 및 유통과정 중 pH가 저하되는 것으로 알려져 있다(Mudoh et al., 2014). 일반적으로 신선한 생굴의 pH는 6.3-6.5이며 6.3 이상인 경우 “매우 좋음”, 6.2-5.9는 “좋음”, 5.2 이하인 경우 “부적합” 수준의 신선도를 가지고 있는 것으로 판단한다(He et al., 2002; Jeong et al., 2015). Fig. 2A에 제시되어 있는 4°C 저장 중 생굴의 pH 변화에서 GP의 경우 초기 pH 6.3으로 “매우 좋음” 수준에서 4일간 저장 시 6.18로 “좋음” 수준으로 신선도가 저하되었으며 6일 저장 시 6.10으로 pH가 저장기간 중 점차 낮아지는 경향이 나타났다. MAP 1은 초기 pH

6.25로 6일차 저장 시 6.19에 도달하여 MAP 포장 조건 중 가장 적은 변화를 나타냈다. MAP 2, 3 및 4는 초기 pH 각각 6.25, 6.31 및 6.31이었으며 6일 경과 후 각각 6.02, 6.00 및 6.00으로 감소하였다. Lekjing and Venkatachalam (2018)은 MAP 굴 (*Crassostrea belcheri*)의 pH가 대조군에 비해 저장기간 동안 급격한 변화를 나타내지 않았으며, 냉장 조건에서 12일 저장 시 대조군은 약 5.8까지 pH가 감소하였으나, MAP 굴은 pH 6 이상을 유지하는 것으로 보고하였다.

저장기간별 충전수의 pH 변화는 Fig. 2B에 나타내었으며 굴의 pH 변화와 비교하였을 때 저장기간의 경과에 따라 충전수의 pH가 급격히 감소하는 경향이 나타났다. GP의 경우 pH 6.5에서 시작하여 3일차 저장 시 5.82로 pH 6 이하로 감소하였으며 6일 경과 후 pH 5.4에 도달하였다. MAP 1은 초기 6.47에서 1일 저장 후 pH 5.55로 급격히 감소하였으며 이후 유지되어 저장 6일 경과 후 pH 5.45로 확인되었다. MAP 2, 3 및 4 모두 MAP 1과 유사한 경향이 나타났으며, 저장 0일차에서 약 pH 6.5에서 시작하여 저장 1일차에 각각 5.71, 5.68 및 5.39로 급격히 감소한 이후 유지되어 6일차 저장 시 각각 5.43, 5.37 및 5.34의 pH 결과가 확인되었다. 충전수의 저장 초기 급격한 pH 저하는 충전수에 CO₂가 용해되면서 carbonic acid가 생성되고 H⁺가 증가하면서 이로 인해 pH가 감소된 것으로 확인되며(Masniyom et al., 2005; Gokoglu, 2020) 이러한 CO₂에 기인한 pH 감소는 수산물을 비롯한 식품의 MAP 포장에서 품질 유지에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Kontominas et al., 2021). 본 연구 결과 충전수 pH 저하로 인해 glycogen 함량 및 일반세균수 등에 대한 품질 변화가 나타나지 않았으므로 MAP의 CO₂로 인한 충전수의 pH 저하는 품질 변화에 영향을 끼치지 않는 것으로 사료된다.

Glycogen 함량

Glycogen은 굴 특유의 크림색과 질감을 부여하는 성분으로

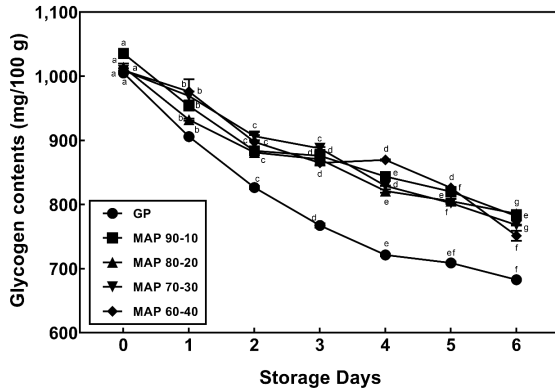


Fig. 3. Changes in glycogen contents of raw oyster *Crassostrea gigas* under the modified atmosphere package condition stored at 4°C. GP, General packaging; MAP 90-10, Modified atmosphere packaging condition by 10% CO₂+90% N₂; MAP 80-20, 20% CO₂+80% N₂; MAP 70-30, 30% CO₂+70% N₂; MAP 60-40, 40% CO₂+60% N₂,

굴의 신선도가 저하됨에 따라 glycogen 함량이 감소하면서 크림색이 노란색 및 황갈색으로 변하는 것으로 보고되어 있다 (Madigan et al., 2013). MAP 포장 조건 별 4°C 저장 중 저장 기간에 따른 glycogen 함량 변화를 확인한 결과는 Fig. 3과 같다. 저장 전 생굴 시료의 glycogen 함량은 1,005.26–1,030.45 mg/100 g으로, 저장기간이 경과함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈다. GP는 저장 5일차까지 급격히 감소하여 682.79 mg/100 g에 도달하였다. MAP 시료의 경우 6일 동안 MAP 1, 2, 3 및 4는 각각 781.93, 785.77, 768.04 및 751.39 mg/100 g까지 감소하여, GP에 비해 감소폭이 적게 나타났다. 특히 MAP 1과 2는 6일 저장 시, GP의 3일 저장 후 glycogen 함량인 767.39 mg/100 g보다 glycogen 함량이 높은 것으로 나타났다. 굴의 종류 및 채취시기에 따라 glycogen 함량은 차이가 있어 초기 gly-

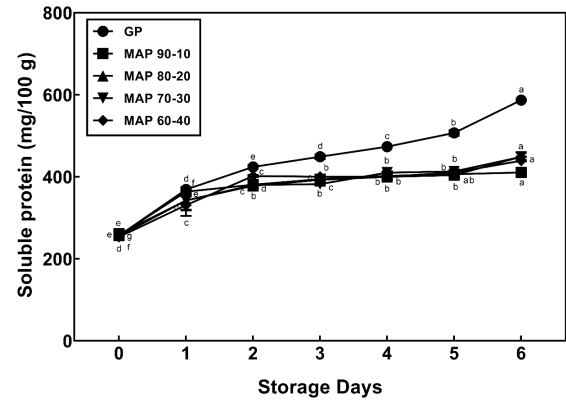


Fig. 4. Changes in soluble protein contents of raw oyster *Crassostrea gigas* package water under the modified atmosphere package condition stored at 4°C. GP, General packaging; MAP 90-10, Modified atmosphere packaging condition by 10% CO₂+90% N₂; MAP 80-20, 20% CO₂+80% N₂; MAP 70-30, 30% CO₂+70% N₂; MAP 60-40, 40% CO₂+60% N₂,

cogen 함량은 상이하나 저장 중 선도가 저하되면서 glycogen이 분해되어 pH가 낮아지는 것으로 보고되어 있다 (Isono et al., 2020; Chen et al., 2022). 이러한 경향은 5°C에서 6일간 저장 시 굴의 glycogen의 함량이 초기 702.51에서 545.22 mg/100 g까지 감소했다고 보고한 Son et al. (2014)와 포장 용기에 따른 저장기간별 생굴의 glycogen 함량 변화를 보고한 Yoon et al. (2022)의 연구에서도 확인할 수 있으며 본 연구에서 제안하는 MAP 조건으로 저장기간 중 생굴의 glycogen이 분해되는 것을 방지하여 신선도를 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

충진수의 가용성 단백질 및 탁도

4°C 저장 중 MAP 포장 조건별 가용성 단백질의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 굴 충진수 중 가용성 단백질 함량은 저장기간이 경과함에 따라 증가하였으며 전체적으로 MAP 생굴 조건이 GP

Table 2. Turbidity changes of raw oyster *Crassostrea gigas* packaging water under the modified atmosphere package condition during storage at 4°C

Sample code	Storage days						
	0	1	2	3	4	5	6
GP ¹	30.73±0.48 ^{ABg2}	88.65±3.45 ^{Af}	124.50±2.00 ^{Ae}	144.56±0.56 ^{Ad}	205.84±1.28 ^{Ac}	292.52±5.75 ^{Ab}	318.50±8.50 ^{Aa}
MAP 90-10	31.78±1.24 ^{ABg}	47.50±1.50 ^{Cf}	63.02±0.12 ^{Be}	101.69±0.43 ^{Cd}	127.78±4.66 ^{CDc}	154.50±2.50 ^{Cb}	167.72±0.44 ^{Ca}
MAP 80-20	30.40±0.86 ^{Bf}	51.90±7.00 ^{Ce}	60.50±3.50 ^{Bd}	106.14±2.02 ^{Bc}	123.16±1.01 ^{Db}	158.00±1.00 ^{Ca}	159.26±1.01 ^{Ca}
MAP 70-30	31.85±1.70 ^{ABf}	61.75±7.85 ^{Be}	63.65±15.35 ^{Be}	104.71±0.58 ^{Bd}	133.81±1.65 ^{Bc}	227.50±17.50 ^{Bb}	250.91±3.75 ^{Ba}
MAP 60-40	32.72±0.42 ^{Ad}	54.45±1.05 ^{B^Cd}	63.82±1.51 ^{Bc}	106.35±0.80 ^{Bb}	132.03±2.86 ^{B^Cb}	262.50±40.50 ^{Aa}	249.71±5.45 ^{Ba}

¹GP, General packaging; MAP 90-10, Modified atmosphere packaging condition by 10% CO₂+ 90% N₂; MAP 80-20, 20% CO₂+80% N₂; MAP 70-30, 30% CO₂+70% N₂; MAP 60-40, 40% CO₂+60% N₂. ²Values are means±SD. Values sharing the same uppercase letter within a row are not significantly different at P<0.05; values sharing the same lowercase letters within a column are not significantly different at P<0.05.

조건보다 가용성 단백질 함량의 증가폭이 낮게 나타났다. 총진수의 초기 가용성 단백질 함량은 GP의 경우 257.06 mg/100 g이며, 저장기간동안 증가하여 6일차에서 588.64 mg/100 g까지 증가하였다. MAP 1의 경우 저장기간동안 257.36–410.86 mg/100 g의 범위로 측정되어 가장 변화 폭이 적게 나타났다. MAP 2, 3 및 4의 경우 저장 초기에 약 258 mg/100 g으로 시작하여 6일 저장 후 각각 449.21, 448.89 및 439.51 mg/100 g까지 증가하였다. MAP 굴 총진수의 탁도 변화는 가용성 단백질 함량 변화와 유사한 경향으로 저장 기간동안 증가하였다 (Table 2). GP 총진수의 탁도는 저장기간 중 변화가 가장 급격하게 나타났으며 초기 탁도 30.73 NTU에서 6일 경과 후 318.50 NTU까지 증가하였다. MAP 1 및 2는 초기 각각 31.78 및 30.40 NTU에서 시작하여 6일차 저장 시 167.72 및 159.26 NTU까지 증가하여 비교적 변화폭이 적었으며 두 조건은 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P < 0.05$). 또한 저장기간 중 MAP 3은 31.85–250.91 NTU, MAP 4는 32.72–249.71 NTU의 변화를 확인하였다. Son et al. (2014)은 총진수의 탁도가 굴의 선도가 저하되면서 가용성 단백질 및 glycogen의 용출로 높아지며 저장 3일 후의 급격한 탁도의 증가는 유통 시 소비자의 기호도 저하에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고하였다. 또한 Yoon et al. (2022)은 포장용기에 따른 생굴의 저장 기간 중 가용성 단백질 함량에 대해 연구하였으며, 선도가 저하됨에 따라 가용성 단백질이 탁도에 영향을 주는 것으로 보고하였다. 하지만, 총진수 중의 가용성 단백질과 탁도 증가의 원인 및 구성성분에 대해서는 아직 보고된 바가 없어 추후 연구가 필요하다.

휘발성 염기 질소

저장 동안 생굴 시료의 휘발성 염기 질소 변화는 Fig. 5와 같다. 저장 초기 4.27–4.61 mg/100 g으로 나타났으며 모든 시료에서 저장 기간이 경과함에 따라 소폭 증가하는 경향이 나타났다. GP의 경우 6일 저장 시 9.29 mg/100 g까지 증가하였으며 MAP 시료의 경우 6.56–7.31 mg/100 g까지 증가하였으며 MAP 조건에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Rong et al. (2010)는 5°C 저장 시 굴의 VBN이 5.25 mg/100 g에서 시작하여 6일간 저장 시 20.66 mg/100 g에 도달하였으며 오존수 처리 시 5.21 mg/100 g에서 10.96 mg/100 g으로 증가하는 것으로 보고했다. GP의 경우 6일 저장 시 pH의 선도 판정 기준에 따라 “좋음” 이하의 상태에 도달했음에도 VBN 함량이 9.29 mg/100 g으로 낮게 나타났으며, 이는 굴의 특이적인 구성에 기인한다. 일반적으로 VBN 함량은 수산물의 신선도를 판단하는 기준으로 사용되고 있는데 굴은 다른 어류 및 갑각류 등의 수산물과 비교했을 때 탄수화물의 함량 비율이 높고 총 질소의 함량이 적은 특징을 가진다(Rong et al., 2018). 또한, 굴은 신선도가 저하됨에 따라 glycogen이 lactic acid로 전환되면서 pH가 저하되기 때문에 저장기간이 경과해도 급격한 VBN 함량에 변화가 나타나지 않는 것으로 보고되어 있어(Cao et al., 2009) 본 연구결과

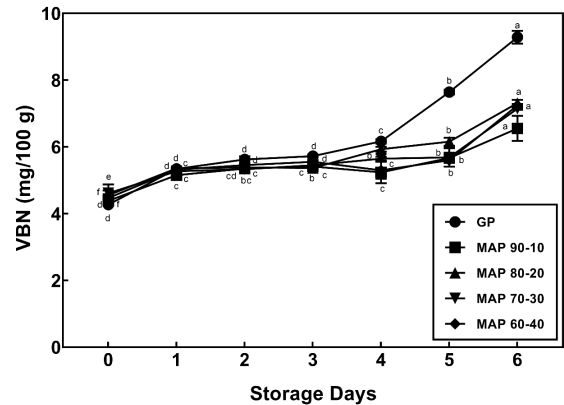


Fig. 5. Changes in volatile basic nitrogen contents of raw oyster *Crassostrea gigas* under the modified atmosphere package condition stored at 4°C. GP, General packaging; MAP 90-10, Modified atmosphere packaging condition by 10% CO₂+90% N₂; MAP 80-20, 20% CO₂+80% N₂; MAP 70-30, 30% CO₂+70% N₂; MAP 60-40, 40% CO₂+60% N₂.

에서 소폭 증가하는 경향이 관찰된 것으로 판단된다.

본 연구는 생굴의 MAP를 통해 품질학적 특성들이 유지될 수 있고 저장성이 높은 것을 확인하였다. 일반적으로 봉지굴 형태의 포장방법은 굴의 신선도를 오랜 기간 유지하지 못한다는 단점을 갖고 있다. 또한, 봉지 굴 내의 총진수의 탁도가 짧은 저장 기간동안 급격히 상승하면서 소비자들의 소비결정에 영향을 미치고 있다. MAP 생굴의 경우 저장 6일차의 최소 탁도가 150 NTU로 기존의 포장 방법에 비하여 약 50% 수준으로 나타났다. 이러한 연구 결과들과 위생학적인 근거들이 뒷받침된다면 안전하고 위생적이며 유통기한이 연장된 생굴 제품을 제안할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 MAP 기술은 생굴뿐만 아니라 다른 종류의 수산물에도 적용하여 유통과정 중 품질 유지 및 유통기한 연장 등의 효과를 나타낼 수 있는 기술로 사료된다.

사 사

이 논문은 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(20210695 수산물 신선유통 스마트 기술개발). 이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2021R1A6A1A03039211). 이 논문은 2023년도 정부(부산시)의 재원으로 부산테크노파크의 지원을 받아 수행된 연구임(2023년 수산 가공식품 혁신성장 현장밀착형 R&D 기술개발사업).

References

Anacleto P, Maulvault AL, Bandarra NM, Repolho T, Nunes

- ML, Rosa R and Marques A. 2014. Effect of warming on protein, glycogen and fatty acid content of native and invasive clams. *Food Res Int* 64, 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.023>.
- Babic Milijasevic J, Milijasevic M and Djordjevic V. 2019. Modified atmosphere packaging of fish-an impact on shelf life. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Conf Ser Earth Environ 333, 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012028>.
- Cao R, Xue CH, Liu Q and Xue Y. 2009. Microbiological, chemical, and sensory assessment of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) stored at different temperatures. *Czech J Food Sci* 27, 102-108. <https://doi.org/10.17221/166/2008-CJFS>.
- Cao R, Zhao L and Liu Q. 2017. High pressure treatment changes spoilage characteristics and shelf life of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) during refrigerated storage. *J Ocean Univ China* 16, 351-355. <https://doi.org/10.1007/s11802-017-3087-0>.
- Chen L, Yu F, Shi H, Wang Q, Xue Y, Xue C, Wang Y and Li Z. 2022. Effect of salinity stress on respiratory metabolism, glycolysis, lipolysis, and apoptosis in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during depuration stage. *J Sci Food Agric* 102, 2003-2011. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11539>.
- Fang T, Huang L, Liu L, Mei F and Chen J. 2015. Mathematical modeling of growth of *Salmonella* spp. and spoilage microorganisms in raw oysters. *Food Control* 53, 140-146. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.036>.
- Gokoglu N. 2019. Novel natural food preservatives and applications in seafood preservation: A review. *J Sci Food Agric* 99, 2068-2077. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9416>.
- Gokoglu N. 2020. Innovations in seafood packaging technologies: A review. *Food Rev Int* 36, 340-366. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649689>.
- Hang J, Li Y, Liu X, Lei Y, Regenstein JM and Luo Y. 2019. Characterization of the microbial composition and quality of lightly salted grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) filets with vacuum or modified atmosphere packaging. *Int J Food Microbiol* 293, 87-93. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.022>.
- He H, Adams R, Farkas D and Morrissey M. 2002. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension. *J Food Sci* 67, 640-645. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10652.x>.
- Hernández KL, Sedas VP, Dehaibes SR, Valencia VS, Mozo IR, Herrera DM, Primo AF and Serrano RU. 2018. Improved microbial safety of direct ozone-depurated shell-stock eastern oysters (*Crassostrea virginica*) by superchilled storage. *Front Microbiol* 9, 2802. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02802>.
- Isono C, Maruta H, Ma Y, Ganeko N, Miyake T and Yamashita H. 2020. Seasonal variations in major components of *Crassostrea gigas* from seto Inland sea. *Fish Sci* 86, 1087-1099. <https://doi.org/10.1007/s12562-020-01458-6>.
- Jeong ET, Han HN, Kim Y, Lee EH, Kim DH, Kim JH, Yeom SM and Kim YM. 2015. The effects of natural food additives on the self-life and sensory properties of shucked and packed Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Korean J Fish Aquatic Sci* 48, 244-248. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0244>.
- Jeong H, Park SK, Jo DM, Khan F, Yu D, Lee JH, Kang MG, Lee D, Sim YA and Kim YM. 2021. Effectiveness of depuration of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): Removal of bioaccumulated *Vibrio vulnificus* by UV-treatment. *Food Sci Biotechnol* 30, 765-771. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00912-0>.
- Jiang S, Liu L, Xu J, Zeng M and Zhao Y. 2019. Amino acid composition and digestibility of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) proteins isolated from different parts. *LWT* 116, 108591. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108591>.
- Kang KT, Kim MJ, Park SY, Choi JD, Heu MS and Kim JS. 2016. Risk assessment of oyster *Crassostrea gigas* processing site for an HACCP system model. *Korean J Fish Aquatic Sci* 49, 533-540. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0533>.
- Kimbuathong N, Leelaphiwat P and Harnkarnsujarit N. 2020. Inhibition of melanosis and microbial growth in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) using high CO₂ modified atmosphere packaging. *Food Chem* 312, 126114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126114>.
- Kontominas MG, Badeka AV, Kosma IS and Nathanailides CI. 2021. Recent developments in seafood packaging technologies. *Foods* 10, 940. <https://doi.org/10.3390/foods10050940>.
- Laorenza Y, Chonhenchob V, Bumbudsanpharoke N, Jittanit W, Sae-Tan S, Rachtanapun C, Chanput WP, Charoensiddhi S, Srisa A and Promhuad K. 2022. Polymeric packaging applications for seafood products: Packaging-deterioration relevance, technology and trends. *Polymers* 14, 3706. <https://doi.org/10.3390/polym14183706>.
- Lee CY, Kim YY, Sohn SK, Lee SM, Oh SH and Kim JS. 2022. Process optimization for processing of oyster *Crassostrea gigas* gratin with cream sauce. *Korean J Fish Aquatic Sci* 55, 102-110. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0102>.
- Lee DH, Kang DM, Park SK, Jeong MC, Kang MG, Jo DM, Lee JH, Lee DE, Sim YA, Jeong GJ, Cho KJ and Kim YM. 2020. Shelf-life extension of raw oyster *Crassostrea gigas* by depuration process. *Korean J Fish Aquatic Sci* 53, 842-850. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0842>.
- Lee HJ, Saravana PS, Ho TC, Cho YJ, Park JS, Lee SG and Chun BS. 2021. *In vivo* protective effect against ethanol metabolism and liver injury of oyster (*Crassostrea gigas*) extracts obtained via subcritical water processing. *Food Sci Biotechnol* 30, 1063-1074. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00941-9>.
- Lekjing S and Venkatachalam K. 2018. Effects of modified atmospheric packaging conditions on the quality changes of pasteurized oyster (*Crassostrea belcheri*) meat during

- chilled storage. *J Aquatic Food Prod Technol* 27, 1106-1119. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1534917>.
- Li P, Chen Z, Tan M, Mei J and Xie J. 2020. Evaluation of weakly acidic electrolyzed water and modified atmosphere packaging on the shelf life and quality of farmed puffer fish (*Takifugu obscurus*) during cold storage. *J Food Saf* 40, e12773. <https://doi.org/10.1111/jfs.12773>.
- Liu F, Li Z, Cao B, Wu J, Wang Y, Xue Y, Xu J, Xue C and Tang QJ. 2016. The effect of a novel photodynamic activation method mediated by curcumin on oyster shelf life and quality. *Food Res Int* 87, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.012>.
- Madigan T, Kiermeier A, Carragher J, de Barros Lopes M and Cozzolino D. 2013. The use of rapid instrumental methods to assess freshness of half shell Pacific oysters, *Crassostrea gigas*: A feasibility study. *Innov Food Sci Emerg Technol* 19, 204-209. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.005>.
- Masniyom P, Benjakul S and Visessanguan W. 2005. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-life extension of refrigerated sea bass slices. *LWT Food Sci Technol* 38, 745-756. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.006>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022. Food Code. Retrieved from <http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode> Oct 28, 2022.
- Monteiro MLG, Mársico ET, Mutz YdS, Castro VS, Moreira RVdBP, Álvares TdS and Conte-Junior CA. 2020. Combined effect of oxygen-scavenger packaging and uv-c radiation on shelf life of refrigerated tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets. *Sci Rep* 10, 4243. <http://doi.org/10.1038/s41598-020-61293-8>.
- Mudoh MF, Parveen S, Schwarz J, Rippen T and Chaudhuri A. 2014. The effects of storage temperature on the growth of *Vibrio parahaemolyticus* and organoleptic properties in oysters. *Front Public Health* 2, 45. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00045>.
- Özogul F, Polat A and Özogul Y. 2004. The effects of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on chemical, sensory, and microbiological changes of sardines (*Sardina pilchardus*). *Food Chem* 85, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.05.006>.
- Park SY, Cho HJ, Lee SM, Heu MS and Kim JS. 2020. Safety evaluation of frozen oyster *Crassostrea gigas* as a raw material for seafood products. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 861-869. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0861>.
- Rong C, Ling Z, Huihui S and Qi L. 2018. Characterization of microbial community in high-pressure treated oysters by high-throughput sequencing technology. *Innov Food Sci Emerg Technol* 45, 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.001>.
- Rong C, Qi L, Bang-zhong Y and Lan-lan Z. 2010. Combined effect of ozonated water and chitosan on the shelf-life of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Innov Food Sci Emerg Technol* 11, 108-112. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.08.006>.
- Sezer YÇ, Bulut M, Boran G and Alwazeer D. 2022. The effects of hydrogen incorporation in modified atmosphere packaging on the formation of biogenic amines in cold stored rainbow trout and horse mackerel. *J Food Compos Anal* 112, 104688. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104688>.
- Sivertsvik M, Jeksrud WK and Rosnes JT. 2002. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products-significance of microbial growth, activities and safety. *Int J Food Sci* 37, 107-127. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00548.x>.
- Singh S, Shin Y and Lee YS. 2016. Antimicrobial seafood packaging: A review. *J Food Sci Technol* 53, 2505-2518. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2216-x>.
- Son KT, Shim KB, Lim CW, Yoon NY, Seo JH, Jeong SG, Jeong WY and Cho YJ. 2014. Relationship of pH, glycogen, soluble protein, and turbidity between freshness of raw oyster *Crassostrea gigas*. *Korean J Fish Aquatic Sci* 47, 495-500. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0495>.
- Tsironi TN and Taoukis PS. 2018. Current practice and innovations in fish packaging. *J Aquat Food Prod Technol* 27, 1024-1047. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1532479>.
- Yoon NY, An BK, In JJ, Han HG, Lee WJ, Seo JH, Jeong SG and Shim KB. 2022. Effect of the packaging container on the freshness of raw oysters *Crassostrea gigas*. *Korean J Fish Aquat Sci* 55, 73-77. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0073>.