

# 레몬 추출물을 첨가한 기체 치환 포장(Modified Atmosphere Packaging) 생굴(*Crassostrea gigas*)의 품질 특성

조경진 · 한서진 · 박슬기<sup>1</sup> · 조두민<sup>2</sup> · 오도경 · 김민웅 · 김도균 · 윤다현 · 강주홍 · 조예현 · 김영목\*

부경대학교 식품공학과, <sup>1</sup>한국식품연구원 스마트제조사업단, <sup>2</sup>국립해양생물자원관 소재개발연구실

## Quality Characteristics of Raw Oysters *Crassostrea gigas* in Modified Atmosphere Packaging (MAP) with Lemon Extract

Kyung-Jin Cho, Seo-Jin Han, Seul-Ki Park<sup>1</sup>, Du-Min Jo<sup>2</sup>, Do Kyung Oh, Min-Ung Kim, Do-Kyun Kim, Da-Hyeon Yoon, Ju-Hong Kang, Ye-Hyeon Jo and Young-Mog Kim\*

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

<sup>1</sup>Smart Food Manufacturing Project Group, Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>2</sup>National Marine Biodiversity Institute of Korea, Seocheon 33662, Republic of Korea

Raw oysters *Crassostrea gigas* are highly susceptible to microbiological and biochemical alterations, owing to their high moisture content and delicate muscle structure. This study aimed to evaluate the efficacy of lemon extract and modified atmosphere packaging (MAP) in preserving oyster quality during storage. The experimental design comprised of three groups: Normally packaged oysters (NPO), MAP-stored oysters (MAPO), and lemon extract with MAP-stored oysters (MAPLO). Key quality parameters, including pH, glycogen content, soluble protein, turbidity, and volatile basic nitrogen, were analyzed for various storage durations at 4, 10, and 20°C for each group. These findings revealed that MAPLO effectively maintained oyster quality and mitigated undesirable sensory concerns, particularly the off-flavors that are typically associated with MAP. These results indicate that the combined application of lemon extract and MAP is a promising strategy for preserving the freshness and organoleptic attributes of oysters. Furthermore, these findings highlight the potential of extending this methodology to enhance the shelf life and quality of diverse seafood products.

Keywords: Modified atmosphere packaging, Lemon extract, Raw oyster, Preservation

### 서론

우리나라 양식산 굴은 최근 연간 약 30만톤 내외의 생산량을 기록하며 주요 양식 자원으로 자리잡고 있다(MOF, 2023). 굴은 필수아미노산, 무기성분, 글리코겐(glycogen)과 같은 영양 성분이 풍부하며 기능성 물질의 함량이 높아 지속적으로 소비되고 있으며, 이로 인해 수출량 또한 연간 10,000 ton을 넘어서고 있다(FAO, 2023). 일반적으로 굴은 비산란기인 11월부터 4월까지 생굴 형태로, 산란기인 5월부터는 냉동품, 건제품 및 통조림 등 가공된 형태로 소비되며, 최근에는 신선한 생굴의 수요가 증가하면서 생식용 굴의 유통량이 증가하고 있다(Kim et

al., 2002; Park et al., 2006; Kang et al., 2017). 생식용 굴은 가열하지 않고 날것으로 섭취하기 때문에, 생산 및 유통 과정에서 발생하는 식품 위해 요소에 취약하다(Kang et al., 2017). 특히, 굴은 높은 단백질 함량과 수분 활성도로 인해 부패가 빠르게 진행되며, 주위 환경의 화학적 및 생물학적 오염원에 민감하게 반응하여 위생학적 안전성에 민감하다(Hunter et al., 1999; Park et al., 2006; Lekjing and Venkatachalam, 2018). 이에, 생식용 굴의 신선도 유지를 위한 연구로 기체 치환 포장(modified atmosphere packaging, MAP; Jo et al., 2023), 굴 패각 및 유산균 발효 분말 첨가(Jeong et al., 2015), 인공정화 처리(Lee et al., 2020) 및 초고압 처리(Park et al., 2006) 등이 보고되어 있다. 특

\*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.2024.0635>

Korean J Fish Aquat Sci 57(6), 635-644, December 2024

Received 18 November 2024; Revised 14 December 2024; Accepted 19 December 2024

저자 직위: 조경진(대학원생), 한서진(대학원생), 박슬기(연구원), 조두민(연구원), 오도경(연구원), 김민웅(대학원생), 김도균(대학원생), 윤다현(대학원생), 강주홍(대학원생), 조예현(대학원생), 김영목(교수)

히, MAP는 대기 중 산소(O<sub>2</sub>), 질소(N<sub>2</sub>) 및 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 농도를 변화시켜 미생물 번식을 억제하고 유통기한을 연장하는 효과적인 방법으로 보고된 바 있다(Mullan and McDowell, 2011). 그러나, MAP 저장 시 사용되는 질소 및 이산화탄소는 식품의 품질 저하를 야기할 수 있다(Mastromatteo et al., 2010). 레몬 추출물은 항산화 및 항균 작용이 우수하여 미생물 성장 억제와 품질 유지에 기여하며, 관능학적 특성에 대한 기호도를 높인다고 보고된 바 있다(Conte et al., 2007; Alfonzo et al., 2017; Xi et al., 2017). 본 연구팀의 선행 연구에서도 레몬 추출물을 사용하여 봉지굴의 저장 중 품질 유지 효과를 확인하였으며, 특히 다른 천연 추출물에 비해 관능적 특성이 우수한 것을 확인하였다(Oh et al., 2023). 따라서, 본 연구에서는 충진수에 보관된 생굴(봉지굴)을 레몬 추출물을 첨가하여 MAP로 포장한 뒤 일반 세균수, pH, glycogen 함량, volatile basic nitrogen (VBN), 관능평가 등을 실험하여 레몬 추출물과 MAP를 함께 사용하였을 때 생굴의 품질에 미치는 영향을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 준비 및 포장 조건

본 연구에서 실험 재료로 사용된 시료는 경상남도 통영시에 소재한 수출용 패류생산 지정해역의 양식장에서 채취한 각굴을 구매하여 사용하였다. 2024년 1월에 수확된 각굴을 이용하였으며, 10°C 이하에서 3시간 이내로 실험실로 운송하여 무게, 길이 및 너비가 49.3 ± 5.4 g, 9.7 ± 1.2 cm 및 4.9 ± 2.4 cm인 것을 선별하였다. 선별된 각굴을 수돗물에 30분 담근 후 흐르는 수돗물로 세척하여 이물 제거 및 해감 과정을 거쳐 탈각 후 실험에 사용하였다. 이후, 각굴을 구매한 박신장 및 봉지굴 제조업체의 공정을 재현하여 생굴 100 g과 충진수 300 mL를 500 mL 용량 및 식품 등급의 폴리에틸렌 비닐에 포장하여 봉지굴 형태로 제조하였으며, 충진수는 인공 해수와 담수(수돗물)를 2:1 비율로 혼합한 후 사용하였다.

인공 해수는 인공 염(Reef Salt Mix; KENT Marine, San Mateo, CA, USA)과 정제 천일염(Hanju Salt; Hanju, Ulsan, Korea)을 1:1 비율로 수돗물에 녹여 안정화 후 사용하였다. 기체 치환 포장은 MAP 장치(TPS-TR1; Total Packaging System, Hwaseong, Korea)를 이용하였으며, 기체 조성 비율은 선행 연구에서 생굴의 저장 중 품질 유지 효과가 가장 좋았던 N<sub>2</sub> 80%, CO<sub>2</sub> 20%를 사용하였다(Jo et al., 2023). 레몬 추출물은 분말 형태로 (주)다인소재(Seoul, Korea)에서 제공받았으며, 선행 연구에서 생굴의 저장 중 품질 유지 효과가 가장 좋았던 200 ppm의 농도로 제조하여 실험에 사용하였다(Oh et al., 2023). 일반 포장한 봉지굴을 대조구(NPO)로 하였고 실험구는 MAP 저장한 봉지굴(MAPO)과 200 ppm 농도의 레몬즙을 첨가하여 MAP 저장된 봉지굴(MAPLO)로 하여 4 ± 1°C, 10 ± 1°C 및 20 ± 1°C에서 6일간 보관하였다.

### 일반세균수

일반세균수 분석은 식품공전(MFDS, 2022)의 미생물 시험법에 따라 진행하였다. 굴 시료 25 g에 0.1 M PBS (phosphate buffer saline)를 첨가한 후 10배 단계 희석을 실시하고, stomacher (BagMixer 400vW; Interscience, Saint Nom, France)를 사용하여 2분간 균질화하였다. 균질화된 시료를 1 mL를 Plate count agar (Difco, Detroit, MI, USA) 평판 배지에 분주 및 접종한 뒤, 35 ± 1°C에서 48 ± 2 h 배양하였다. 배양 후 형성된 집락을 계수하였다.

### Glycogen 함량

Glycogen 함량은 Cicika and Engin (2005)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 생굴 시료 0.5 g에 30% KOH (Daejung Chem. Inc., Siheung, Korea) 5 mL를 첨가하여 95°C에서 20분간 증탕한 뒤, 포화 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 0.5 mL와 95% ethanol 5 mL를 첨가하여 95°C에서 15분간 증탕한 후 원심분리(1,259 g, 10분) 하였다. 침전물에 2 mL 탈이온수와 2.5 mL 99% ethanol을 첨가하고 원심분리(1,259 g, 10분) 후, 2 mL 5 M HCl을 가하여 완전히 용해시킨 후 0.5 M NaOH로 pH 7.0으로 50 mL로 정용하여 시료액으로 사용하였다. 시료용액 5 mL에 10 mL 0.2% anthron-sulfate solution (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 가하고 95°C에서 10분간 증탕 후 냉각하여 분광광도계(UV mini-1240; Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이용하여 620 nm에서 흡광도를 측정하였다. Glycogen 함량은 glucose를 표준물질로 작성한 정량곡선( $Y=0.0426 X+0.0665$ ,  $R^2=0.9908$ )에 따라 측정하였으며, 글리코겐 전환계수 0.9를 곱하여 계산하였다.

### pH

생굴 시료 및 충진수의 pH는 pH meter (Orion 3 star; Thermo Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하여 측정하였다. 생굴 시료는 5 g의 시료에 45 mL의 증류수를 혼합한 후 균질화 과정을 거쳐 측정하였으며, 충진수는 별도의 처리 없이 진행되었다.

### 가용성단백질

충진수의 가용성 단백질 함량은 Click and Engin (2005)의 연구를 참고하여 Biuret assay로 분석하였다. 충진수 1 mL에 Biuret 시약(Sigma-Aldrich) 4 mL를 첨가한 후, 실온에서 30분간 반응시켰다. 반응이 완료된 후 분광광도계(Biotek; Synergy HTX, Winooski, VT, USA)를 사용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 가용성 단백질의 함량은 bovine serum albumin을 표준 단백질로 사용한 정량 곡선을 기반으로 산출하였다.

### 탁도

충진수의 탁도는 휴대용 탁도계(Hanna HI 93414; Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA)를 사용하여 충진수 10 mL

를 분주하여 측정하였다. 결과는 0–1,000 NTU (nephelometric turbidity unit)로 나타났다.

### 휘발성 염기질소

휘발성 염기질소 분석은 식품공전(MFDS, 2022)의 미량화산(conway)법을 일부 변형하여 진행되었다. 생굴 10 g과 증류수 50 g을 30분간 교반 후, 침출된 용액을 원심분리(1,100 g, 10 분)하였다. 분리된 상등액을 여과 후, 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액으로 pH 4.5로 보정하여 100 mL를 정용하여 시료로 사용하였다. 0.01 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mL를 conway의 내실에, 시료 용액 및 포화 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 1 mL를 외실에 각각 분주하여 덮개를 덮어 공기를 차단하였다. 외실에 분주된 시험 용액과 포화 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액을 섞어 25°C에서 1시간 반응시킨 후 내실에 Brunswik 지시약을 가하여 0.01 N NaOH의 첨가량을 계산하여 VBN 함량으로 산출하였다.

### 관능평가

MAP 및 레몬 추출물이 첨가된 굴의 관능평가는 부경대학교 식품공학부에 재학 중인 24–30세의 남학생 5명 및 여학생 5명을 대상으로 총 10명의 패널에 의해 5점 척도법으로 진행되었다. 패널에 의한 관능평가는 생명윤리법에 따라 기관생명윤리회(Institutional Review Board, IRB)로부터 생명윤리심의의 승인(1041386-202310-HR-114-02)을 받아 진행하였다. 시료의 외관, 신맛, 비린 맛, 이취, 전체적인 선호도에 대한 관능평가를 실시하였으며, 7일간 24시간 간격으로 조사하였다. 5단계 평점법을 사용하여 해당하는 항목의 관능적 특성이 강할수록 높은 점수를 부여하였다.

### 통계처리

본 연구의 모든 실험은 3회 반복하였으며, 평균±표준편차(means±SD)로 나타내었다. 실험 결과는 SPSS 29 (Statistical Package for Social Science, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 Analysis of Variance (ANOVA)를 통해 통계처리

하였으며, Duncan's multiple range test에 의하여 분석하였다 (P<0.05).

## 결과 및 고찰

### 저장 기간 중 일반세균수 변화

4°C, 10°C 및 20°C에서 6일 동안의 저장 기간 중 포장 조건 별 굴의 일반세균수 변화는 Fig. 1에 나타났다. 본 연구에서 4°C 및 10°C 저장 시, NPO의 초기 세균수는 모두 1.85 log CFU/g였으며, 6일 후 각각 3.41 및 3.70 log CFU/g로 증가하였다(Fig. 1A, Fig. 1B). 반면, MAPO의 초기 값은 1.54 log CFU/g로 시작하여 6일 후 1.81 및 2.30 log CFU/g로 증가폭이 작았고, MAPLO는 1.68 log CFU/g로 시작하여 4°C 및 10°C 저장 시 각각 1.68 및 2.10 log CFU/g를 나타내며 초기 값과 유의미한 차이를 나타내지 않았다. 20°C 저장에서 NPO는 3일차에 5.12 log CFU/g로 빠르게 세균 수가 증가하였으며(Fig. 1C), 생굴의 부패 기준인 5 log CFU/g를 초과하는 4일차부터 실험을 중단하였다(KIMST, 2016). 반면, MAPO와 MAPLO는 20°C 저장 시, 4일차까지 일반세균수가 3 log/CFU를 초과하지 않았다. 이는 저장 온도가 세균 증식에 큰 영향을 미친다는 Son et al. (2014)의 연구와 일치하는 결과이다.

모든 온도에서 MAPO와 NPO보다 일반세균수가 더 낮게 나타난 것은 MAP에 사용한 CO<sub>2</sub>가 미생물 생육을 억제한 것으로 사료되며, 본 연구에서 사용한 MAP 조건 미생물의 Krebs Cycle에서 숙신산 탈수소효소와 말산 탈수소 효소의 활성이 억제된다고 보고된 바 있다(Singh et al., 2014; Zhang et al., 2017). MAPLO에서 MAPO보다 초기 일반세균수가 높았지만 6일 후에 MAPLO의 일반세균수가 더 낮게 나타난 것은 레몬 추출물과 MAP의 시너지 효과인 것으로 사료된다. Kwon et al. (2017)의 연구에 따르면, 냉장 유통되는 굴의 초기 일반세균수는 2.28–4.69 log CFU/g 범위였으며, 본 연구에서 사용한 굴의

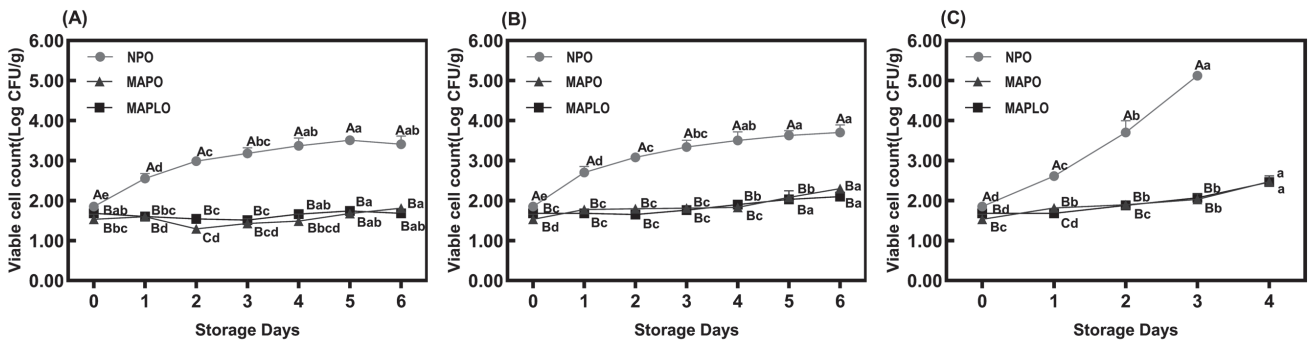


Fig. 1. Changes of viable cell count in raw oyster *Crassostrea gigas* stored at (A) 4°C, (B) 10°C and (C) 20°C. NPO, General packaged oyster; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different uppercase letters indicate significant differences between packaging conditions (P<0.05). Values with different lowercase letters indicate significant differences between dates (P<0.05).

초기 일반세균수 보다 높았다. 이는 본 연구에서 사용한 생굴이 1일 간 해감을 통해 일부 정화되어 오염도가 상대적으로 낮았던 것으로 사료된다.

### Glycogen 함량

포장 조건별 4°C, 10°C 및 20°C 저장 중 6일 동안 관찰한 glycogen 함량 변화는 Table 1에 나타났다. 초기 glycogen 함량은 모든 조건에서 1,000 mg/100 g을 모두 초과하였으며 조건별 유의적인 차이는 확인되지 않았으나, NPO는 6일차에 4°C 및 10°C 조건에서 각각 694.70 및 651.22 mg/100 g으로 급격히 감소하며 변화를 확인하였다. 반면, MAPO 및 MAPLO는 4°C에서 저장 기간 동안 900 mg/100 g 이하로 감소하지 않았으며, 10°C 저장 시에도 각각 785.90 및 818.05 mg/100 g을 유지하여 대사 활동이 억제되는 효과를 확인하였다. 20°C 저장에서 NPO는 3일차에 600 mg/100 g에 도달하였으며, 일반세균수 결과 관

찰 시 부패한 것으로 판단되어 4일차부터 실험을 중지하였다. MAPO 및 MAPLO는 4일차에 glycogen 함량이 각각 691.25 및 752.83 mg/100 g으로 나타났다. 모든 조건에서 생굴의 glycogen 함량은 시간이 경과함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였으며, 이는 굴의 저장 중 세포 구조 손상과 조직 변화로 인해 glycogen이 감소한 것으로 사료된다(Son et al., 2014; Lee et al., 2017). MAPL과 MAPLO가 NPO에 비해 glycogen 함량이 높은 것은 MAP 저장으로 인해 기체 조성이 변화됨에 따라 환경적 요인과 저장 기간 중의 대사활동에 영향을 받은 것으로 사료되며(Zhicui et al., 2006), MAPLO가 MAPL보다 유의적으로 높게 나타난 것은 레몬 추출물과의 시너지 효과에 의한 것으로 사료된다.

### 생굴 및 충전수의 pH

저장 기간 중 pH는 품질 변화를 나타내는 주요 지표이며, 부

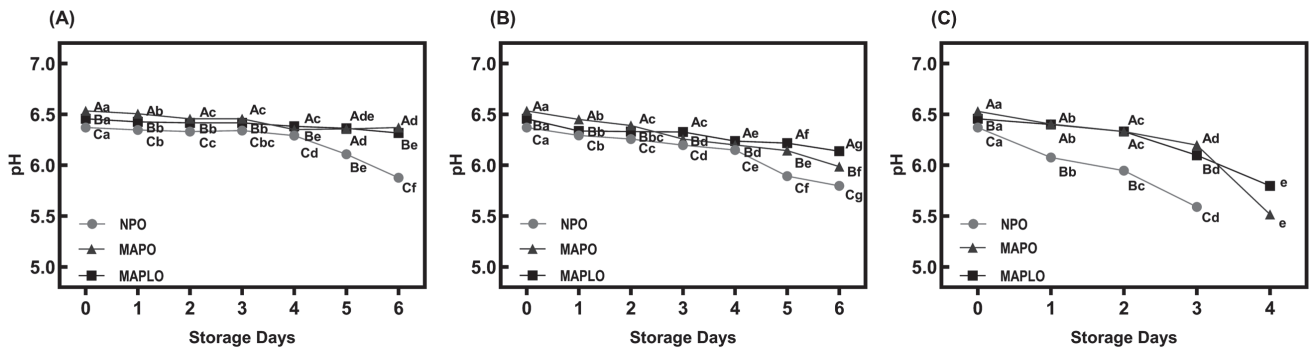


Fig. 2. Changes of pH in raw oyster *Crassostrea gigas* stored at (A) 4°C, (B) 10°C and (C) 20°C. NPO, General packaged oyster; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different uppercase letters indicate significant differences between packaging conditions ( $P < 0.05$ ). Values with different lowercase letters indicate significant differences between dates ( $P < 0.05$ ).

Table 1. Changes of glycogen contents in filling water stored at 4°C, 10°C and 20°C

Temperature (°C)	Sample	Storage days						
		0	1	2	3	4	5	6
4	NPO	1050.35±2.11 <sup>Ab</sup>	959.54±1.99 <sup>Bc</sup>	920.80±2.08 <sup>Cc</sup>	852.47±1.29 <sup>Dc</sup>	830.30±0.84 <sup>Ec</sup>	772.54±2.71 <sup>Fc</sup>	694.70±3.41 <sup>Gc</sup>
	MAPO	1120.14±2.71 <sup>Aa</sup>	1064.28±2.92 <sup>Bb</sup>	997.64±1.10 <sup>Cb</sup>	970.21±1.19 <sup>Db</sup>	942.11±3.98 <sup>Eb</sup>	915.21±2.65 <sup>Fb</sup>	907.57±1.45 <sup>Gb</sup>
	MAPLO	1122.24±1.94 <sup>Aa</sup>	1095.37±2.84 <sup>Ba</sup>	1003.63±2.35 <sup>Ca</sup>	983.93±2.65 <sup>Da</sup>	947.11±1.46 <sup>Ea</sup>	926.21±4.67 <sup>Fa</sup>	919.57±0.68 <sup>Ga</sup>
10	NPO	1050.35±2.25 <sup>Ab</sup>	953.44±2.29 <sup>Bc</sup>	867.89±0.69 <sup>Cc</sup>	793.99±1.13 <sup>Dc</sup>	726.99±2.43 <sup>Eb</sup>	692.49±3.37 <sup>Fc</sup>	651.22±1.50 <sup>Gc</sup>
	MAPO	1120.14±2.71 <sup>Aa</sup>	1036.00±1.85 <sup>Bb</sup>	996.69±1.89 <sup>Ca</sup>	942.20±2.49 <sup>Db</sup>	924.15±3.30 <sup>Ea</sup>	871.69±1.19 <sup>Fb</sup>	785.90±3.25 <sup>Gb</sup>
	MAPLO	1122.24±1.92 <sup>Aa</sup>	1053.84±1.37 <sup>Ba</sup>	990.87±0.59 <sup>Cb</sup>	959.73±1.52 <sup>Da</sup>	922.72±1.46 <sup>Ea</sup>	892.55±2.01 <sup>Fa</sup>	818.05±3.16 <sup>Ga</sup>
20	NPO	1050.35±1.83 <sup>Ab</sup>	873.67±2.16 <sup>Bc</sup>	818.97±1.51 <sup>Cc</sup>	637.98±2.83 <sup>Dc</sup>	-	-	-
	MAPO	1120.14±1.71 <sup>Aa</sup>	986.57±0.41 <sup>Bb</sup>	881.40±1.88 <sup>Cb</sup>	783.10±1.26 <sup>Db</sup>	691.25±1.45 <sup>E</sup>	-	-
	MAPLO	1120.14±2.71 <sup>Aa</sup>	986.57±2.17 <sup>Ba</sup>	881.40±2.90 <sup>Ca</sup>	783.10±1.04 <sup>Da</sup>	691.25±2.65 <sup>E</sup>	-	-

NPO, General packaged oyster *Crassostrea gigas*; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different uppercase letters indicate significant differences between dates ( $P < 0.05$ ). Values with different lowercase letters indicate significant differences between packaging conditions ( $P < 0.05$ ).



패가 진행됨에 따라 glycogen이 해당 과정을 거쳐 젖산으로 축적되면서 pH가 점차적으로 감소한다고 보고되었다(Park et al., 2006). 굴 수협외의 경매 기준은 pH 6.3 이상이며, 생굴의 pH 수준은 6.3 이상일 때 "very good," 6.2-5.9일 때 "good," 5.8일 때 "off," 5.7-5.5일 때 "musty," 그리고 5.2 이하일 경우 "sour" 혹은 "putrid"으로 규정된다(Jeong et al., 2015). 포장 조건 별 4°C, 10°C 및 20°C 저장 중 6일 동안 관찰한 생굴의 pH 변화는 Fig. 2에 나타냈으며, 5.52-6.53의 범위에서 변동하였다. 4°C 및 10°C 저장 시, MAPO 및 MAPLO에서 생굴의 pH는 7일간 5.90 이상을 유지하며 신선도를 유지하는 것으로 판단되는 반면, NPO는 4°C 및 10°C 저장 6일차에 각각 pH 5.88 및 5.80으로 하락하였다. 20°C 저장 조건에서는 pH 감소가 급격하게 진행되어 NPO와 MAPO는 각각 3일차와 4일차에 부패 지표에 도달했고, MAPLO는 4일차에 pH 5.80으로 다른 조건보다 더 우수한 pH 유지 효과를 보였다. 포장 조건별 충전수의 pH 변화도 유사

한 경향이 나타났지만, 생굴의 pH보다 급격하게 감소하는 특징이 있었다(Fig. 3).

충진수의 초기 pH는 모든 조건에서 6.45-6.60으로 큰 차이를 보이지 않았으나, NPO에서는 4°C 저장 시 5일차에 pH 5.93, 10°C 저장 시 2일차에 pH 5.56으로 떨어져 5.80 이하로 감소하였다. 반면, MAPO 및 MAPLO에서는 4°C 저장 시 6일까지, 10°C 저장 시 각각 5일차와 6일까지 pH 5.80 이상을 유지하며 "good" 상태를 유지하였다. 20°C 저장에서는 pH 감소가 현저하게 빠르게 나타나, NPO는 5일차에, MAPO 및 MAPLO는 5일차에 pH 5.5 이하로 떨어져 실험을 중단하였다.

이는 Lee et al. (2020)의 연구와 유사한 결과로, 4°C에서 인공정화된 굴의 pH는 6일까지 5.90 이하로 감소하지 않았으며, 굴의 신선도와 pH 간의 밀접한 상관관계가 있음을 보고하였다. 본 연구는 MAP 저장을 통해 glycogen의 젖산 축적이 억제되어 pH 유지 효과가 있음을 확인하였다. 이를 통해 MAP 저장이

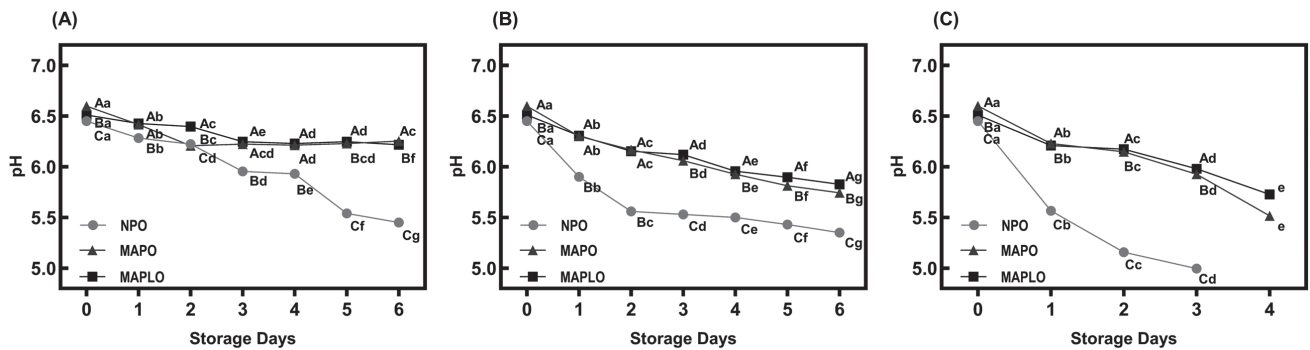


Fig. 3. Changes of pH in filling water stored at (A) 4°C, (B) 10°C and (C) 20°C. NPO, General packaged oyster *Crassostrea gigas*; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different uppercase letters indicate significant differences between packaging conditions ( $P < 0.05$ ). Values with different lowercase letters indicate significant differences between dates ( $P < 0.05$ ).

Table 2. Changes of soluble protein contents in filling water stored at 4°C, 10°C and 20°C

Temperature (°C)	Sample	Storage days						
		0	1	2	3	4	5	6
4	NPO	202.02±0.80 <sup>Gb</sup>	291.00±0.25 <sup>Fa</sup>	327.52±2.35 <sup>Ea</sup>	403.85±3.70 <sup>Da</sup>	423.12±0.34 <sup>Ca</sup>	489.50±1.35 <sup>Ba</sup>	619.31±0.86 <sup>Ab</sup>
	MAPO	207.77±1.54 <sup>Fa</sup>	222.63±0.82 <sup>Eb</sup>	255.49±3.39 <sup>Db</sup>	307.79±2.34 <sup>Cb</sup>	323.70±1.43 <sup>Bb</sup>	344.92±2.33 <sup>Ab</sup>	344.50±2.35 <sup>Ab</sup>
	MAPLO	202.02±0.77 <sup>Gb</sup>	212.13±1.68 <sup>Fc</sup>	245.49±3.39 <sup>Ec</sup>	294.79±0.66 <sup>Dc</sup>	313.70±1.43 <sup>Cc</sup>	321.42±1.17 <sup>Bc</sup>	336.33±2.12 <sup>Ac</sup>
10	NPO	202.02±0.78 <sup>Gb</sup>	298.77±1.51 <sup>Fa</sup>	343.72±1.57 <sup>Ea</sup>	419.84±1.30 <sup>Da</sup>	454.58±2.00 <sup>Ca</sup>	652.88±1.70 <sup>Bc</sup>	774.91±2.33 <sup>Aa</sup>
	MAPO	207.77±1.85 <sup>Ga</sup>	251.37±0.83 <sup>Fb</sup>	272.94±0.19 <sup>Eb</sup>	329.67±0.53 <sup>Db</sup>	431.71±0.93 <sup>Cb</sup>	502.59±7.51 <sup>Bb</sup>	511.57±0.71 <sup>Ab</sup>
	MAPLO	202.02±0.96 <sup>Gb</sup>	222.37±0.83 <sup>Fc</sup>	265.79±3.04 <sup>Ec</sup>	309.67±0.53 <sup>Dc</sup>	411.71±0.93 <sup>Cc</sup>	468.09±1.01 <sup>Bc</sup>	494.08±4.43 <sup>Ac</sup>
20	NPO	202.02±0.97 <sup>Db</sup>	305.65±2.79 <sup>Ca</sup>	646.35±4.19 <sup>Ba</sup>	1,249.67±2.49 <sup>Aa</sup>	-	-	-
	MAPO	207.77±2.75 <sup>Ea</sup>	273.47±0.72 <sup>Db</sup>	302.89±2.16 <sup>Cb</sup>	616.33±4.22 <sup>Bb</sup>	797.73±3.17 <sup>A</sup>	-	-
	MAPLO	202.02±1.53 <sup>Eb</sup>	233.47±0.72 <sup>Dc</sup>	305.89±1.84 <sup>Cb</sup>	551.33±0.78 <sup>Bc</sup>	702.73±1.83 <sup>A</sup>	-	-

NPO, General packaged oyster *Crassostrea gigas*; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different uppercase letters indicate significant differences between dates ( $P < 0.05$ ). Values with different lowercase letters indicate significant differences between packaging conditions ( $P < 0.05$ ).

생굴의 품질 유지에 효과적임을 알 수 있으며, 특히 pH 변화 역제가 품질 보존에 중요한 역할을 한다는 결론을 내릴 수 있다.

총진수의 가용성 단백질 및 탁도

저장 기간에 따른 총진수의 가용성 단백질 변화는 Table 2에 나타났다. 4°C, 10°C 및 20°C 저장 조건 및 모든 처리 조건에서 가용성 단백질의 초기 값은 약 200 mg/100 g으로 유의적으로 큰 차이를 보이지 않았으나, 4°C 저장 6일차에서 NPO는 619.31 mg/100 g을 나타내며 MAPO 및 MAPLO의 약 2배에 해당하는 값을 나타냈다. 10°C 저장 시에는 4일차까지 모든 조건에서 유사한 증가 경향을 보였으나, 5일차에 이르러 NPO와 MAPO 및 MAPLO는 각각 652.88, 502.59 및 468.09 mg/100 g으로 조건 간에 큰 차이가 발생하였으며, 이를 통해 MAPO 및 MAPLO 조건의 선도 유지 효과가 확인되었다. 또한, 가용성 단백질 함량이 700 mg/100 g을 초과 시 부패가 진행된 것으로 판단하여(Lee et al., 2020), 20°C 저장 실험에서는 NPO는 3일차까지, MAPO 및 MAPLO는 4일차까지 실험을 진행하였다.

저장 기간에 따른 총진수의 탁도 변화는 Fig. 4에 나타났다. 0 일차의 탁도 값은 30.30–31.60 NTU로 시료 간 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 이는 Oh et al. (2023)의 연구에서 보고된 초기 값과 유사하였다. NPO의 경우 4°C 저장 시 3일차에 122.62 NTU를 나타냈으나, MAPO 및 MAPLO는 6일차에 각각 96.78 NTU 및 83.25 NTU를 나타냈다. MAPO는 10°C 및 20°C 저장 시, 각각 3일차 및 2일차에서 100 NTU를 초과한 반면, MAPLO는 각각 5일차 및 3일차에서 초과하였다. 가용성 단백질 함량 실험과 유사하게, 탁도 변화 실험에서도 부패 진행 유무에 따라 20°C 저장 실험 기간을 단축하여 실험을 진행하였다.

본 연구의 모든 조건에서 시간이 경과함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 확인하였으며, 보관 온도에 따른 뚜렷한 증가와 급격한 품질 변화가 관찰되었다. 굴은 선도가 저하되면서 굴 조직의 일부가 떨어져 나가 가용성 단백질의 용출량이 증가하고 탁도가 높아지며, 이는 저장 온도에 따라 큰 차이를 보인다고 보고된 바 있다(Son et al., 2014). 세 조건 중 MAPLO가 4°C,

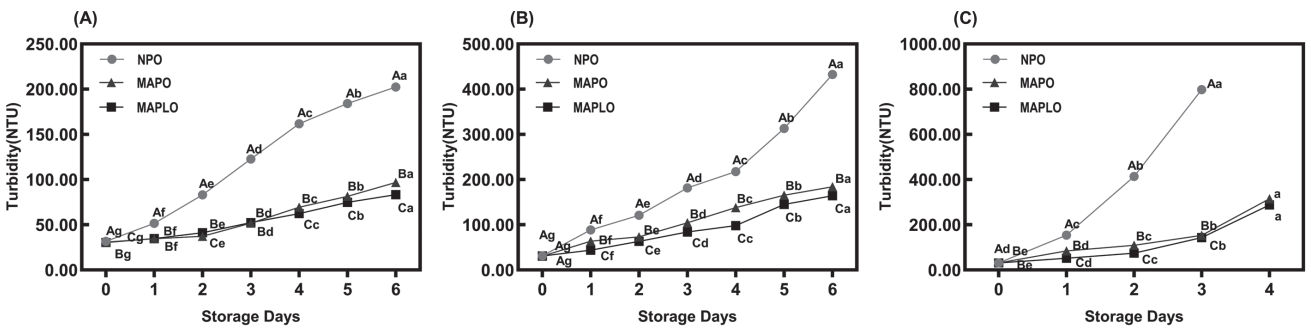


Fig. 4. Changes of turbidity (NTU) in filling water stored at (A) 4°C, (B) 10°C and (C) 20°C. NPO, General packaged oyster *Crassostrea gigas*; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different uppercase letters indicate significant differences between packaging conditions ( $P < 0.05$ ). Values with different lowercase letters indicate significant differences between dates ( $P < 0.05$ ).

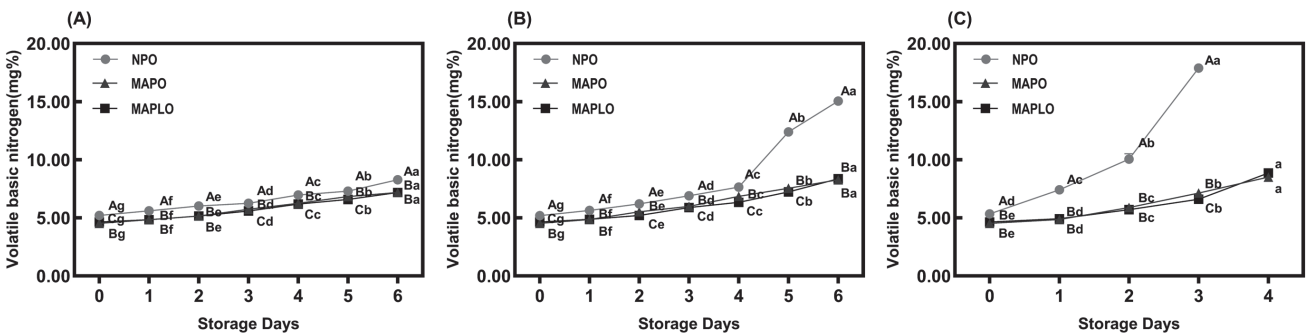


Fig. 5. Changes of volatile basic nitrogen (mg/100 g) in raw oyster *Crassostrea gigas* stored at (A) 4°C, (B) 10°C and (C) 20°C. NPO, General packaged oyster; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different uppercase letters indicate significant differences between packaging conditions ( $P < 0.05$ ). Values with different lowercase letters indicate significant differences between dates ( $P < 0.05$ ).

10°C 및 20°C 저장에서 가장 적은 증가 폭을 나타내며 레몬 추출물의 첨가가 굴의 조직 변화 속도를 효과적으로 감소시키는 것을 확인하였다.

### 휘발성 염기 질소

생굴에 MAP 및 레몬 추출물을 첨가한 후 저장 기간 동안의 휘발성 염기 질소(VBN) 함량 변화를 Fig. 5에 나타냈다. NPO는 4°C 및 10°C 저장 초기 VBN 함량이 각각 5.20 mg/100 g와 5.19 mg/100 g였으나, 저장 6일 후에는 각각 8.28 mg/100 g와 15.05 mg/100 g로 급격히 증가하였다. 20°C 저장에서는 3일차 (17.89 mg/100 g)로, 15 mg/100 g을 초과해 부패가 진행됨을 확인하였다. 반면, MAPO 및 MAPLO에서는 4°C와 10°C 저장 시 초기 값이 각각 4.53 및 4.64 mg/100 g였으며, 6일 후 4°C에서 7.18 mg/100 g, 10°C에서 각각 8.28 및 8.35 mg/100 g로 8 mg/100 g 부근에 머무르며 부패 지표에 도달하지 않았다(Fig. 5A, Fig. 5B).

20°C 저장에서는 VBN 함량이 비교적 빠르게 증가했으나, MAPO 및 MAPLO에서는 4일차에 각각 8.50 mg/100 g와 8.85 mg/100 g으로 상대적으로 낮은 값을 보였다(Fig. 5C). 이후 부패가 진행된 것으로 판단되어 5일 차부터 실험을 중단하였다.

VBN 함량은 단백질의 변패 정도를 확인하는 저장성 지표로, 저장 기간 중 질소화합물의 생성으로 인해 함량이 증가한다고 보고되며, 신선한 생굴의 VBN 함량은 10 mg% 이하인 것으로 보고되어 있다(Park et al., 2008; Oh et al., 2023). Jo et al.

(2023)의 연구에서도 MAP된 굴의 4°C 저장 중 VBN 함량이 8 mg/100 g 근처에서 유지된다고 보고하여, 본 연구와 유사한 경향을 확인할 수 있었다.

### 관능평가

저장 기간에 따른 관능평가 결과는 관능 항목별 평균 평점의 결과를 Table 3, Table 4, Table 5에 나타내었다. 4°C 저장 시, 외관 점수는 NPO, MAPO 및 MAPLO에서 각각 6일차에 2.1, 3.4 및 4.5를 나타냈다(Table 3). 신맛의 경우, NPO와 MAPO는 5일차와 6일차에 모두 4.0을 나타낸 반면, MAPLO는 6일차까지 4.9의 높은 점수를 유지하였다. 비린 맛은 NPO에서 6일차에 1.8로 급격히 감소하는 경향을 보였으며, MAPO는 6일차에 3.8로 NPO에 비하여 소폭 감소하는 경향을 보였다. 반면, MAPLO는 6일차에 4.5로 초기와 큰 차이를 보이지 않았다. 이취는 NPO 및 MAPO에서 5일차에 각각 2.7 및 3.3의 값을 나타냈으나, MAPLO는 4.4로 이취의 정도가 크지 않았다. 전체적인 선호도 결과에서 NPO는 3일차에 3.0, 6일차에 1.6을 나타냈고, MAPO는 3일차에 4.0, 6일차에 2.8을 나타냈다. 이에 반해, MAPLO는 3일차까지 4.9를 유지하며 6일차에 4.5로 높은 선호도를 나타냈다. 10°C 저장 시, 외관 점수는 NPO, MAPO 및 MAPLO에서 6일차에 1.8, 2.5 및 3.5를 나타내며 MAPLO에서 3 이상의 값을 유지하였다(Table 4). 신맛은 NPO와 MAPO가 6일차에 각각 2.7, 3.8로 감소했으며, MAPLO는 4.5로 신맛의 변화가 거의 나타나지 않았다. 비린 맛은 6일차에 NPO가 1.9로 급감했으며, MAPLO는 4.0으로 초기와 큰 차이가 없었

Table 3. Changes of sensory evaluation in raw oyster *Crassostrea gigas* stored at 4°C, 10°C and 20°C

Sample	Sensory attribute	Storage days						
		0	1	2	3	4	5	6
NPO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	3.90±0.74 <sup>B</sup>	3.40±0.70 <sup>BC</sup>	2.50±0.71 <sup>CD</sup>	2.20±0.42 <sup>DE</sup>	1.70±0.82 <sup>E</sup>	1.50±0.53 <sup>F</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.40±0.70 <sup>A</sup>	3.70±0.82 <sup>A</sup>	3.00±0.47 <sup>A</sup>	2.80±0.42 <sup>A</sup>	2.40±0.84 <sup>B</sup>	2.10±0.88 <sup>B</sup>
	Fishy taste	4.80±0.42 <sup>A</sup>	3.80±0.63 <sup>AB</sup>	2.70±0.48 <sup>BC</sup>	1.80±0.79 <sup>C</sup>	1.60±0.70 <sup>D</sup>	1.50±0.71 <sup>E</sup>	1.20±0.42 <sup>E</sup>
	Off flavor	4.90±0.32 <sup>A</sup>	3.50±0.53 <sup>A</sup>	2.40±0.52 <sup>A</sup>	1.50±0.53 <sup>B</sup>	1.20±0.42 <sup>C</sup>	1.10±0.32 <sup>C</sup>	1.00±0.00 <sup>D</sup>
	Overall preference	4.80±0.42 <sup>A</sup>	3.10±0.32 <sup>AB</sup>	2.80±0.42 <sup>B</sup>	2.30±0.48 <sup>C</sup>	1.90±0.88 <sup>CD</sup>	1.60±0.70 <sup>DE</sup>	1.10±0.32 <sup>E</sup>
MAPO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.40±0.52 <sup>BC</sup>	4.10±0.32 <sup>C</sup>	4.00±0.47 <sup>CD</sup>	3.60±0.52 <sup>DE</sup>	3.40±0.70 <sup>E</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.70±0.67 <sup>AB</sup>	4.60±0.70 <sup>AB</sup>	4.30±0.48 <sup>BC</sup>	4.00±0.47 <sup>C</sup>
	Fishy taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.50±0.53 <sup>BC</sup>	4.40±0.52 <sup>BC</sup>	4.20±0.63 <sup>CD</sup>	4.20±0.63 <sup>CD</sup>	3.80±0.42 <sup>D</sup>
	Off flavor	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>A</sup>	4.20±0.63 <sup>B</sup>	3.90±0.32 <sup>BC</sup>	3.50±0.71 <sup>CD</sup>	3.30±0.67 <sup>D</sup>	2.80±0.63 <sup>E</sup>
	Overall preference	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.70±0.48 <sup>A</sup>	4.60±0.52 <sup>A</sup>	4.00±0.47 <sup>B</sup>	3.50±0.53 <sup>C</sup>	3.30±0.67 <sup>C</sup>	2.80±0.79 <sup>D</sup>
MAPLO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.70±0.48 <sup>A</sup>	4.70±0.67 <sup>A</sup>	4.60±0.70 <sup>A</sup>	4.50±0.71 <sup>A</sup>	4.50±0.71 <sup>A</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>
	Fishy taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>AB</sup>	4.90±0.32 <sup>AB</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.60±0.70 <sup>AB</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>
	Off flavor	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.60±0.52 <sup>AB</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>	4.40±0.52 <sup>B</sup>	4.40±0.52 <sup>B</sup>
	Overall preference	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>A</sup>	4.60±0.70 <sup>A</sup>	4.50±0.71 <sup>A</sup>	4.50±0.71 <sup>A</sup>

NPO, General packaged oyster; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different letters differ significantly ( $P < 0.05$ ).

Table 4. Changes of sensory evaluation in raw oyster *Crassostrea gigas* stored at 10°C

Sample	Sensory attribute	Storage days						
		0	1	2	3	4	5	6
NPO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.82 <sup>B</sup>	3.60±0.52 <sup>BC</sup>	3.10±0.88 <sup>CD</sup>	2.50±0.53 <sup>DE</sup>	2.00±0.82 <sup>EF</sup>	1.80±0.79 <sup>F</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.50±0.71 <sup>AB</sup>	4.20±0.63 <sup>BC</sup>	3.80±0.92 <sup>CD</sup>	3.50±0.53 <sup>DE</sup>	3.10±0.57 <sup>EF</sup>	2.70±0.48 <sup>F</sup>
	Fishy taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.50±0.53 <sup>AB</sup>	4.00±0.82 <sup>B</sup>	3.40±0.70 <sup>C</sup>	2.90±0.74 <sup>CD</sup>	2.40±0.52 <sup>DE</sup>	1.90±0.74 <sup>E</sup>
	Off flavor	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.20±0.79 <sup>B</sup>	3.80±0.63 <sup>B</sup>	3.60±0.52 <sup>B</sup>	3.00±0.67 <sup>C</sup>	2.50±0.85 <sup>C</sup>	1.60±0.70 <sup>D</sup>
	Overall preference	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.94 <sup>B</sup>	3.70±0.48 <sup>B</sup>	2.70±0.82 <sup>C</sup>	1.90±0.88 <sup>D</sup>	1.70±0.82 <sup>D</sup>	1.40±0.70 <sup>D</sup>
MAPO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.60±0.52 <sup>B</sup>	4.10±0.57 <sup>C</sup>	3.90±0.32 <sup>C</sup>	3.50±0.53 <sup>D</sup>	2.90±0.32 <sup>E</sup>	2.50±0.53 <sup>F</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.70±0.48 <sup>ABC</sup>	4.40±0.84 <sup>BCD</sup>	4.20±0.92 <sup>CDE</sup>	4.00±0.47 <sup>DE</sup>	3.80±0.42 <sup>E</sup>
	Fishy taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>	4.00±0.47 <sup>C</sup>	3.80±0.63 <sup>CD</sup>	3.40±0.70 <sup>DE</sup>	3.20±0.79 <sup>EF</sup>	2.80±0.42 <sup>F</sup>
	Off flavor	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.40±0.70 <sup>B</sup>	3.90±0.57 <sup>C</sup>	3.80±0.42 <sup>C</sup>	3.50±0.71 <sup>C</sup>	3.00±0.47 <sup>D</sup>	2.60±0.52 <sup>D</sup>
	Overall preference	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>	4.10±0.74 <sup>B</sup>	3.60±0.52 <sup>C</sup>	3.00±0.47 <sup>D</sup>	2.50±0.53 <sup>E</sup>	2.00±0.67 <sup>F</sup>
MAPLO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.60±0.52 <sup>ABC</sup>	4.30±0.67 <sup>BCD</sup>	4.10±0.57 <sup>CD</sup>	3.80±0.63 <sup>DE</sup>	3.50±0.71 <sup>E</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.90±0.32 <sup>AB</sup>	4.90±0.32 <sup>AB</sup>	4.70±0.48 <sup>AB</sup>	4.60±0.52 <sup>AB</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>	4.50±0.53 <sup>B</sup>
	Fishy taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.50±0.53 <sup>BC</sup>	4.40±0.52 <sup>BCD</sup>	4.20±0.63 <sup>CD</sup>	4.00±0.47 <sup>D</sup>	4.00±0.47 <sup>D</sup>
	Off flavor	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.70±0.48 <sup>AB</sup>	4.50±0.53 <sup>BC</sup>	4.20±0.42 <sup>CD</sup>	4.10±0.32 <sup>CD</sup>	3.90±0.57 <sup>D</sup>	3.80±0.63 <sup>D</sup>
	Overall preference	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.70±0.48 <sup>ABC</sup>	4.50±0.53 <sup>BC</sup>	4.30±0.67 <sup>CD</sup>	3.90±0.32 <sup>DE</sup>	3.80±0.42 <sup>E</sup>

NPO, General packaged oyster; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different letters differ significantly ( $P<0.05$ ).

Table 5. Changes of sensory evaluation in raw oyster *Crassostrea gigas* stored at 20°C

Sample	Sensory attribute	Storage days						
		0	1	2	3	4	5	6
NPO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	3.90±0.74 <sup>B</sup>	3.40±0.70 <sup>B</sup>	2.50±0.71 <sup>C</sup>	2.20±0.42 <sup>CD</sup>	1.70±0.82 <sup>DE</sup>	1.50±0.53 <sup>E</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.40±0.70 <sup>B</sup>	3.70±0.82 <sup>C</sup>	3.00±0.47 <sup>D</sup>	2.80±0.42 <sup>D</sup>	2.40±0.84 <sup>DE</sup>	2.10±0.88 <sup>E</sup>
	Fishy taste	4.80±0.42 <sup>A</sup>	3.80±0.63 <sup>B</sup>	2.70±0.48 <sup>C</sup>	1.80±0.79 <sup>D</sup>	1.60±0.70 <sup>DE</sup>	1.50±0.71 <sup>DE</sup>	1.20±0.42 <sup>E</sup>
	Off flavor	4.90±0.32 <sup>A</sup>	3.50±0.53 <sup>B</sup>	2.40±0.52 <sup>C</sup>	1.50±0.53 <sup>D</sup>	1.20±0.42 <sup>DE</sup>	1.10±0.32 <sup>E</sup>	1.00±0.00 <sup>E</sup>
	Overall preference	4.80±0.42 <sup>A</sup>	3.10±0.32 <sup>B</sup>	2.80±0.42 <sup>B</sup>	2.30±0.48 <sup>C</sup>	1.90±0.88 <sup>CD</sup>	1.60±0.70 <sup>D</sup>	1.10±0.32 <sup>E</sup>
MAPO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.20±0.79 <sup>B</sup>	3.90±0.57 <sup>B</sup>	3.40±0.52 <sup>C</sup>	2.80±0.42 <sup>D</sup>	2.50±0.53 <sup>D</sup>	1.90±0.32 <sup>E</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.70±0.48 <sup>A</sup>	4.20±0.79 <sup>B</sup>	3.90±0.32 <sup>BC</sup>	3.50±0.53 <sup>CD</sup>	3.40±0.52 <sup>D</sup>	3.20±0.42 <sup>D</sup>
	Fishy taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.10±0.57 <sup>B</sup>	3.90±0.32 <sup>B</sup>	3.20±0.42 <sup>C</sup>	2.70±0.48 <sup>D</sup>	2.50±0.53 <sup>DE</sup>	2.10±0.57 <sup>E</sup>
	Off flavor	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.20±0.63 <sup>B</sup>	3.70±0.48 <sup>C</sup>	3.10±0.32 <sup>D</sup>	2.60±0.52 <sup>E</sup>	2.00±0.47 <sup>F</sup>	1.80±0.42 <sup>F</sup>
	Overall preference	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.00±0.47 <sup>B</sup>	3.80±0.63 <sup>B</sup>	3.20±0.63 <sup>C</sup>	2.50±0.53 <sup>D</sup>	2.20±0.42 <sup>DE</sup>	1.90±0.32 <sup>E</sup>
MAPLO	Appearance	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.60±0.52 <sup>AB</sup>	4.20±0.63 <sup>BC</sup>	4.00±0.47 <sup>CD</sup>	3.90±0.74 <sup>CD</sup>	3.50±0.71 <sup>D</sup>	3.00±0.47 <sup>E</sup>
	Sour taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.80±0.42 <sup>AB</sup>	4.60±0.52 <sup>ABC</sup>	4.50±0.53 <sup>BC</sup>	4.20±0.42 <sup>CD</sup>	4.00±0.67 <sup>D</sup>
	Fishy taste	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.60±0.52 <sup>AB</sup>	4.30±0.48 <sup>BC</sup>	4.20±0.42 <sup>BC</sup>	4.00±0.67 <sup>C</sup>	3.80±0.63 <sup>C</sup>	3.80±0.63 <sup>C</sup>
	Off flavor	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.60±0.52 <sup>AB</sup>	4.50±0.53 <sup>BC</sup>	4.10±0.32 <sup>CD</sup>	3.90±0.57 <sup>D</sup>	3.70±0.67 <sup>D</sup>	3.70±0.67 <sup>D</sup>
	Overall preference	5.00±0.00 <sup>A</sup>	4.70±0.48 <sup>AB</sup>	4.60±0.52 <sup>AB</sup>	4.40±0.52 <sup>B</sup>	4.00±0.47 <sup>C</sup>	3.80±0.42 <sup>C</sup>	3.70±0.48 <sup>C</sup>

NPO, General packaged oyster; MAPO, Modified atmosphere packaged oyster; MAPLO, Modified atmosphere packaged with lemon extract oyster. Values with different letters differ significantly ( $P<0.05$ ).

다. 이취는 6일차에 NPO가 1.6, MAPLO가 3.9로 이취가 가장 적었다. 전체적인 선호도는 MAPLO가 NPO와 MAPO에 비해 유의적으로 높았다. 20°C 저장 시, 외관 점수는 MAPLO에

서만 6일차에 3.0이상의 값을 나타냈으며, 신맛은 NPO가 2.1로 감소했으나, MAPLO는 4.0으로 큰 변화가 없었다(Table 5). 비린 맛은 NPO가 3일차에 1.5, MAP는 3.2로 감소하였



으나, MAPLO는 4.2로 안정적인 값을 유지했다. 이취는 4일 차에 NPO 및 MAPO가 각각 1.2, 2.6으로 이취가 강해졌으나, MAPLO는 3.9로 이취가 가장 적었다. 전체적인 선호도는 6일 차에 NPO가 1.1, MAP가 1.9, MAPLO가 3.7으로 상대적으로 높은 점수를 나타냈다. Kim et al. (2018)의 연구는 가금류 저장 실험을 통해 대조구의 이취 점수가 7.5였던 반면, 레몬 추출물을 첨가한 처리구에서는 3.64로 나타나 레몬 추출물이 이취를 억제하는 데 효과적임을 확인하였다. 본 연구에서도 이러한 결과와 유사하게, MAP 포장에 레몬 추출물을 첨가함으로써 저장 기간 동안 굴의 관능적 특성 감소가 지연되었으며, 특히 외관, 맛, 냄새 변화를 억제하는 효과가 확인되었다. 이를 통해 레몬 추출물이 굴의 저장 기간 동안 신선도를 유지하고, 전체적인 기호도를 개선하는 데 중요한 역할을 하는 것을 확인하였다.

본 연구는 레몬 추출물과 MAP를 사용하여 생굴의 품질에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 레몬 추출물과 MAP를 같이 사용한 MAPLO가 생굴과 충전수의 일반세균수, 탁도, glycogen, pH 등 품질 유지에 우수한 것을 확인하였다. 특히, 관능 평가는 레몬 추출물을 첨가하였을 때, 일반 포장과 MAP로 포장한 생굴보다 관능적 특성이 우수하였다. 미생물학적 및 이화학적 위해요소에 취약한 생굴은 포장 방법이 품질 특성에 중요하게 작용한다. 본 연구 결과를 기반으로 레몬 추출물의 농도와 MAP 저장 시 가스 조성에 대한 추가적인 연구를 통해 우수한 품질과 안전성을 확보한 생굴 제품을 소비자에게 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

이 논문은 국립부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의하여 연구되었음.

## References

- Alfonzo A, Martorana A, Guarrasi V, Barbera M, Gaglio R, Santulli A, Santulli L, Galati A, Moschetti G and Francesca N. 2017. Effect of the lemon essential oils on the safety and sensory quality of salted sardines (*Sardina pilchardus* Walbaum 1792). *Food Control* 73, 1265-1274. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.10.046>.
- Cicik B and Engin K. 2005. The effects of cadmium on levels of glucose in serum and glycogen reserves in the liver and muscle tissues of *Cyprinus carpio* (L., 1758). *Turkish J Vet Anim Sci* 29, 113-117.
- Conte A, Speranza B, Sinigaglia M and Del Nobile MA. 2007. Effect of lemon extract on foodborne microorganisms. *J Food Prot* 70, 1896-1900. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.8.1896>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2023. *Aquaculture Growth Potential in the Republic of Korea*. FAO, Roma, Italy, 1-77.
- Hunter C, Perkins J, Tranter J and Gunn J. 1999. Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire Peak District in the U.K. *Water Res* 33, 3577-3586. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00083-4).
- 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 Aquat Sci* 48, 244-248. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0244>.
- Jo DM, Lee DH, Park SK, Oh DK, Cho KJ, Won DH, Park GW, Song MR, Jang YB, Noh SY and Kim YM. 2023. Effect of modified atmosphere packaging on shelf-life extension of raw oysters *Crassostrea gigas*. *Korean J Fish Aquat Sci* 56, 512-519. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0512>.
- Kang KT, Park SY, Choi JD, Kim MJ, Heu MS and Kim JS. 2017. Safety monitoring of a processing plant for preparing raw oysters *Crassostrea gigas* for consumption. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 120-129. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0120>.
- KIMST (Korea Institute of Marine Science & Technology Promotion). 2016. Development and commercialization of traditional seafood products based on the Korean coastal marine resources. report on the 1st Project, KIMST, Seoul, Korea, 33-56.
- Kim JS, Yeum DM, Kang HG, Kim IS, Kong CS, Lee TG and Heu MS. 2002. *Fundamentals and Application for Canned Foods*. Hyoil Publishing Co, Seoul, Korea, 59-326.
- Kim D, Kim HJ, Kim HJ, Kim JS, Kim H, Sujiwo J, Kang S, Gwak HA and Jang A. 2018. Effects of lemon and cranberry juice on the quality of chicken thigh meat during cold storage. *Korean J Poult Sci* 45, 53-62. <https://doi.org/10.5536/KJPS.2018.45.1.53>.
- Kwon K, Ryu DG, Jeong MC, Kang EH, Shin IS and Kim YM. 2017. Microbiological and physicochemical hazard analysis in processing process of simple-processed shellfish products. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 352-358. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0352>.
- Lee DH, Kang DM, Park SK, Jeong MC, Kang MG, Jo DM, Lee JH, Lee DE, Sim YA, Jeong GJ and Kim YM. 2020. Shelf-life extension of raw oyster *Crassostrea gigas* by depuration process. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 842-850. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0842>.
- 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 Aquat Food Prod Technol* 27, 1106-1119. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1534917>.
- Mastromatteo M, Conte A, Del Nobile MA. 2010. Combined use of modified atmosphere packaging and natural compounds for food preservation. *Food Eng Rev* 2, 28-38. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9013-5>.

- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022. Food Code. Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/-FC> on Oct 18, 2024.
- MOF (Ministry of Ocean and Fisheries). 2023. Survey on Fisheries Production and Distribution Industries in 2022. Retrieved from <https://www.mof.go.kr/en/index.do> on Oct 21, 2024.
- Mullan M and McDowell D. 2011. Modified atmosphere packaging. In: Food and Beverage Packaging Technology. Second Edition. Coles R and Kirwan M, eds. Blackwell Publishing Ltd., Hoboken, NJ, U.S.A., 263-294.
- Oh DK, Lee DH, Jo DM, Cho KJ, Park SK, Sim YJ, Jo JB, Woon JH and Kim YM. 2023. Extending raw Pacific oyster *Crassostrea gigas* shelf-life by addition of the natural food additives. Korean J Fish Aquat Sci 56, 810-817. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0810>.
- Park JS, Pak JN, Park JG, Han IJ, Jung PM, Song BS, Choi JI, Kim JH, Byun MW, Lee JW and Han SB. 2008. Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of gamma-irradiated fresh oysters during storage. J Radiat Ind 2, 85-91.
- Park WJ, Jwa MK, Hyun SH, Lim SB and Song DJ. 2006. Microbial and quality changes during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure. J Korean Soc Food Sci Nutr 35, 1449-1455. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2006.35.10.1449>.
- Singh R, Giri SK and Kotwaliwale N. 2014. Shelf-life enhancement of green bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under active modified atmosphere storage. Food Packag Shelf Life 1, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.03.001>.
- 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 Aquat Sci 47, 495-500. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0495>.
- Xi W, Lu J, Qun J and Jiao B. 2017. Characterization of phenolic profile and antioxidant capacity of different fruit part from lemon (*Citrus limon* Burm.) cultivars. J Food Sci Technol 54, 1108-1118. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2544-5>.
- Zhang J, Song S, Li D and Luo Y. 2017. Microbial communities and biogenic amines of crucian carp (*Carassius auratus*) fillets during partial freezing and chilled storage. Int J Food Prop 20, S1053-S1064. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1326938>.
- Zhicui Z, Changhu X, Xin G, Zhaojie LI and Qi W. 2006. Monthly changes of glycogen, lipid and free amino acid of oyster. J Ocean Univ China 5, 257-262. <https://doi.org/10.1007/s11802-006-0011-4>.