KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 30, No. 2 131~139 (2024)
https://doi.org/10.20909/kopast.2024.30.2.131

고등어 필렛의 품질유지에 미치는 변형기체포장의 효과

박어진 · 김수찬 · 안덕순*

경남대학교 제약공학과

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality Preservation of Mackerel Fillets

Eo Jin Park, Su Chan Kim, and Duck Soon An*

Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University, Changwon 51767, Korea

Abstract In Korea, mackerel is the most preferred red fish commodity and has been increasingly consumed in chill-stored fresh state rather than in frozen or salted fish. Modified atmosphere packaging (MAP) technology as a replacement of air with low O_2 and high CO_2 concentration gas was applied in this study to preserve its freshness. Four MAP conditions of CO_2(60):O_2(30):N_2(10), CO_2(60):O_2(5):N_2(35), CO_2(60):O_2(0):N_2(40), and CO_2(30):O_2(0):N_2(70) were compared in quality preservation effect with air package used as Control. Three hundred grams mackerel fillets packaged in gas barrier tray were stored for duration of 10 days at 5°C. Quality was assessed in total aerobic bacterial count, pH, total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid-reactive substances (TBARS), peroxide value (POV), texture, and surface color. High CO_2 concentration MAPs (CO_2(60):O_2(30):N_2(10), CO_2(60):O_2(5):N_2(35), and CO_2(60):O_2(0):N_2(40)) inhibited total aerobic bacteria growth in the fish fillets. MAPs of high CO_2 concentration with O_2 containment (CO_2(60):O_2(30):N_2(10) and CO_2(60):O_2(5):N_2(35)) showed a low TVB-N content through the storage. The treatments containing O_2 above 20% (Control and CO_2(60):O_2(30):N_2(10)) showed more accelerated increases in TBARS and POV than other treatments. The visual appearance was better for fillets in the packages of CO_2(60):O_2(5):N_2(35), CO_2(60):O_2(0):N_2(40), and CO_2(30):O_2(0):N_2(70) than for those of other treatments. The MAPs of CO_2(60):O_2(5):N_2(35) and CO_2(60):O_2(0):N_2(40) are expected to be effective in keeping the freshness of mackerel fillets.

Keywords Mackerel fillets, Modified atmosphere packaging, Total aerobic bacteria, Total volatile basic nitrogen, Lipid oxidation

서 론

최근 소비자들은 건강한 삶 유지와 영양균형 측면에서 육류보다는 수산물 섭취를 중요시하며, 수산물 구입 시 신선도를 최우선으로 고려한다[1]. 수산물 중 어류의 신선도 유지와 저장성 확보를 위해 전통적으로 냉동법, 염장법, 훈연법, 건조법 등이 주로 사용되었지만, 최근에는 신선도를 요구하는 소비경향에 맞추어 냉장 상태로의 단기간 유통과 판매가 증가하고 있다. 어류는 주로 생선회와 초밥, 구이류의 형태를 선호하는데, 특유의 냄새 등으로 원물을 구입하여 손질하기 보다는 손질된 제품 또는 가공품 형태로 구입한다. 특히, 인구구조의 변화로 65세 이상의 고령인구와 1인 가구의 비중이 증가하고 있어 원물의 구입 형태는 점차 감소하고, 손질 후 포장된 형태의 제품 구매 비중이 증가하고 있다[2]. 구매 행태는 냉장 유통 시스템의 발달로 오프라인보다는 온라인 구매 비중이 점점 증가하고 있어 1차 손질 및 포장된 제품의 위생 안전성과 신선도 유지 및 저장성 확보가 무엇보다 중요하다.

혈합육의 비율이 높아 적색육 어류에 포함되는 고등어는 육색소 단백질인 myoglobin과 hemoglobin 함량이 높아 붉게 보이며 흰살 생선과 비교 시 상대적으로 지질성분, 비타민류, 각종 효소군 등 영양성분이 많으며, 특히 다가불포화 지방산이 높고 단백질 가수분해물인 peptide 등이 풍부한

*Corresponding Author: Duck Soon An
Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University, 7 Kyungnamdaehak-ro, Changwon 51767, South Korea
Tel: +82-55-249-2360
E-mail: ads2004@kyungnam.ac.kr

고열량 식품이다[3]. 주로 바다 위층에 서식하고 있어 깊은 곳에 서식하는 생선보다 육질이 연하고 부패하기 쉬우며, 신선하지 못할 경우 아미노산인 히스티딘이 히스타민으로 변하고 독성이 생겨 알레르기의 원인이 되므로 신선도 관리가 중요하다. 앞에서 언급한 바와 같이, 신선도 유지를 위하여 냉장상태의 포장과 유통이 최근에 증가하고 있다. 비록, 냉동 저장 방법의 적용을 통해 신선도 저하가 빠른 고등어의 이화학적 품질 저하 속도를 느리게 할 수 있지만, 냉동과정을 통해 생성된 얼음 결정은 해동 시 어육 조직에 좋지 못한 영향을 미치고, 냉동저장 중 지질산화가 발생한다[4]. 염장법으로써 소금에 절인 후 가공 및 진공 포장한 제품인 간고등어가 냉동 또는 냉장 상태로 유통되고 있지만, 생고등어에 비해 휘발성 염기질소 함량과 지질의 산화 정도가 높다[5]. 이들 간고등어 제품은 편의성 측면에서 소비자의 구매력이 높지만, 최근 저염식을 선호하는 수요가 높아지면서 단순 필렛으로 가공한 신선 냉장 상태의 제품으로 구매하고자 하는 소비자의 욕구가 높다. 이러한 부분을 고려하여 포장 내 기체농도를 조절하는 변형기체조절포장(modified atmosphere packaging, MAP) 방법으로 고등어를 포장하여 품질유지 효과를 확인하고자 한다.

MAP는 포장 내 CO_2, O_2, N_2의 기체농도를 적절히 조절하는 포장 방식으로 저장 초기 CO_2 농도를 높이고 O_2 농도를 낮추면 포장된 제품의 품질을 유지하는데 도움이 된다[6-10]. 변형기체(modified atmosphere, MA)로 포장된 어류 제품의 유통기한은 초기 원료의 상태, 저장 및 보관 온도, 혼합 기체 농도 비율, 그리고 포장 재료에 따라 연장될 수 있다[7]. 고등어는 수분함량이 높고 영양성분이 풍부하여 호기성 변패 미생물이 증식하기에 좋은 조건이다. 포장 초기부터 포장 내 높은 CO_2 농도와 낮은 O_2 농도로 포장하면 미생물의 성장을 억제하여 어류의 품질 유지에 도움을 줄 수 있다[11-13]. CO_2는 많은 변패성 미생물의 성장을 억제하는데, CO_2 농도가 높을수록 저장온도가 낮을수록 높은 CO_2의 용해성으로 균 증식 억제효과는 크다. O_2는 호기성 미생물의 증식과 지질 산화를 촉진시켜 어류 변패의 주요 원인을 제공한다. 영양성분이 풍부한 고등어는 미생물이 증식하기 쉬운 조건으로 트리메틸아민옥사이드(trimethylamine *N*-oxide, TMAO)가 트리메틸아민(trimethylamine, TMA)으로 변하면서 이취를 발생시키고, 풍부한 다가불포화지방산은 쉽게 산화되어 지질산패를 일으킨다. 포장 내 O_2를 제거하거나 낮은 농도로 조절함으로써 산화를 억제시켜 품질유지에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. Goulas 등[8]은 70% CO_2/30% N_2 MA 조건에 포장된 고등어에서 총 휘발성 염기질소와 트리메틸아민질소(trimethylamine nitrogen, TMAN) 함량이 낮았고, 우수한 관능적 품질을 보고하였다. 그러나 MA 포장에 사용된 포장재질의 투과성으로 저장 중 포장 내 기체 농도의 변화가 있었을 것으로 추정된다. 저장 중 포장 내 형성되는 기체농도에 대한 데이터가 제시되어 있지 않아 기체 농도 변화에 따른 고등어 품질 변화의 연관성이 제시되지 않았다. 또한, 미생물 품질에 대한 데이터가 제시되어 있지 않아 이화학적 품질과의 연관성을 확인하는데도 어려움이 있었다. 또한 무지개 송어 필렛에 대해 MA 포장연구에서도 진공 포장과 일반 랩 포장 보다 10% O_2/50% CO_2/40% N_2와 10% O_2/50% CO_2/40% Ar의 MA 조건에서 이화학적/미생물적 품질이 우수한 것으로 보고되었다[10]. 그러나, 저장 중 제품의 품질에 영향을 미치는 포장 내 기체 농도변화에 대한 분석이 진행되지 않은 한계가 있었다. 따라서, 본 연구에서는 MAP 조건에서 저장 중 포장 내 기체 농도 변화를 측정하여 이의 고등어 필렛 품질과의 관계를 파악하고 고등어 필렛에 대해서 신선도 유지에 도움이 되는 MA 포장 기체 조성 비율을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

평균 30 cm 크기의 살아있는 생물 고등어(*Scomber japonicus*)를 실험 당일 머리와 꼬리 및 내장을 제거하고 한쪽 면에 뼈가 붙어 있도록 반으로 분리 및 세척된 필렛을 지역 수산시장으로부터 구입하여 사용하였다.

2. 고등어 필렛의 포장 및 저장

고등어 필렛 300 g을 PET/LLDPE 트레이(26.0 × 13.5 × 3.5 cm, NYB35, Hypervac Corporation, Suwon, Korea)에 담고, 다층 EVOH (90 μm, PP/PE/nylon/EVOH/nylon/PE/LLDPE, Cryovac Division, Sealed Air Corporation, Ducan, SC, USA) 필름으로[14] 4면 접착 파우치 형태(18.0 × 31.0 cm)로 포장하여 5ºC에서 10일간 저장하였다. 대조구는 일반 공기 조건(CO_2(0):O_2(21):N_2(78))인 함기포장(air package)으로하고 MAP 처리구는 4가지 조건으로 CO_2(60):O_2(30):N_2(10), CO_2(60):O_2(5):N_2(35), CO_2(60):O_2(0):N_2(40), CO_2(30):O_2(0):N_2(70)으로 진행하였다. 실험에 사용된 MA 조성은 신선 어류 보존에 긍정적으로 알려진 범위 내에서, 유연 포장 내 평형 CO_2 농도(분압)와 포장 부피를 예측하는 CO_2 물질수지 모델방정식을 활용하여 설계하였다[15,16]. 포장 내 MA 조성은 가스치환 포장기(M-6TM, Lee pack, Incheon, Korea)로 진공 후 제시된 MA 조건으로 적절히 비율을 맞춘 혼합가스를 사용하여 치환하였으며, G/P (gas volume/product volume) 비율은 약 2.0이다.

3. MAP 조건에 따른 고등어 필렛의 품질지표 측정

MAP 기체 조성에 따라 포장된 고등어 필렛의 저장 중 품질은 포장 내 기체농도, 수분함량, 필렛 표면 pH, 호기성

총균수(total aerobic bacteria), 총 휘발성 염기질소(total volatile basic nitrogen, TVB-N), 과산화물가(peroxide value, POV), TBARS (thiobarbituric acid-reactive substances), 경도 그리고 표면색도로 측정하였다.

3.1. MAP 조건에 따른 고등어 필렛 포장 내 기체 농도 변화 측정

포장 내 기체농도는 헤드스페이스 1 mL를 기밀성 syringe로 취하여 CTR I column (Alltech Associates, Deerfield, IL, USA)과 TCD가 장착된 기체크로마토그래피(Model 3800, Varian Inc, Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다. 분석 조건은 컬럼 온도 40°C, 주입부 온도 80°C, 검출부 온도 90°C 조건을 유지하고 운반 가스는 30 mL/min의 헬륨(He)을 사용하였다. 수분함량은 식품공전[17]에 제시된 상압가열건조법으로 측정한 후 고등어 필렛의 건조 전후 무게 변화로 계산하였다. pH는 고등어 필렛의 표면에 대해 측정하였는데, 표면측정용 전극(927005MD, Thermofisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)이 장착된 pH meter (Orion Star A211, Thermofisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)를 사용하여 측정하였다.

3.2. MAP 조건에 따른 고등어 필렛의 미생물적 품질 변화 측정

호기성 총균수를 측정하기 위해 시료 채취는 무균적으로 균질화 작업을 진행하였다. 고등어 필렛 시료 10 g을 멸균백에 넣고 0.05% 멸균 펩톤수 90 mL를 첨가한 후 stomacher (Stomacher 400 circulator, Seward Limited, The UK)를 이용하여 300 rpm에서 5분 균질화하여 시료 원액으로 사용하였다. 균질화된 시료 원액을 단계별로 10배씩 희석한 후 plate count agar (PCA, Difco Laboratories, Detroit, USA)에서 30°C, 1~2일간 배양하여 콜로니 수(colony forming unit, CFU)를 계수하였다.

3.3. MAP 조건에 따른 고등어 필렛의 이화학적 품질 변화 측정

총 휘발성 염기질소(TVB-N)는 Conway micro-diffusion 방법[18]에 의하여 고등어 필렛 제품의 선도지표로 측정하였다. 시료 10 g에 4% trichloroacetic acid (TCA) 용액 40 mL를 넣고 10초 동안 분쇄 및 균질화 한 후에 Whatman No.41 여과지로 여과하고, 30분 동안 상온에 방치하였다. 확산기의 내실에는 혼합지시약(bromocresol green 0.01 g + methyl red 0.02 g + 10 mL ethanol) 1 mL, 외실에는 여액 1 mL와 포화 K_2CO_3 용액 1 mL를 분주하였다. 그리고 확산기의 테두리에 기밀제를 바른 후 비스듬하게 덮개를 닫고 클립으로 고정한 후 잘 혼합하고 37°C에 60분 동안 반응시켰다. 0.02 N HCl 용액으로 적정하여 mg/100 g으로 계산하여 제시하였다(식 (1)).

$$TVB-N = (A-B)\times(N_{HCl}\times A_N)\times\frac{[(W\times M/100)+V_E]\times 100}{W} \quad (1)$$

여기서 A는 시료 적정량(mL), B는 blank 적정량(mL), N_{HCl}은 HCl 농도 × 역가, A_N는 질소 원자량, W는 시료 무게(g), M은 시료의 수분함량, V_E는 실험에 사용된 TCA 용액의 부피(mL)이다.

과산화물가(POV)는 일정량의 시료를 채취하여 chloroform과 methanol을 넣고 일정시간 균질화 하였다. 균질액은 Whatman No.1 여과지를 이용하여 감압여과한 후 정치시켜 chloroform 층 만을 회수하여 증발 농축시킨다[19]. 식품공전에 제시된 방법[17]으로 증발 농축된 지질 1 g에 acetic acid: chloroform (3:2, v/v) 혼합 용액 25 mL를 넣고 용해시킨 후 포화 KI 용액 1 mL를 첨가하여 10분 정도 암소에 반응시킨다. 지시약으로 1% starch 용액을 첨가한 후 0.01 N sodium thiosulfate로 적정하였다. TBARS 측정[20]에서는 일정량의 시료에 working solution (15% trichloroacetic acid + 20 mM thiobarbituric acid) 25 mL를 첨가하여 균질화한 후 여과하고, 여과액을 working solution으로 적절하게 희석하여 90°C에서 30분간 반응시킨 후 10분간 방냉하였다. 방냉 후 용액은 원심분리(4°C, 12,000×g, 10분) 후 분광광도계(X-ma 1200 V, Human Corporation, Seoul, Korea)를 사용하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로는 1,1,3,3-tetraethoxypropane을 사용하였다. 고등어 필렛의 texture 측정은 시료를 1 × 1 × 1 cm의 크기로 일정하게 절단한 후 시료대 중앙에 평평하게 올려놓고 측정하였다. 측정에 사용된 기계는 texture analyzer (CT3, Brook-field, Middleboro, MA, USA)를 사용하여 trigger load 7.0 g, test speed 5.0 mm/sec, 40% deformation 조건으로 진행하였다. Compression 측정 mode로 분석 후 경도(hardness)의 수치로 평가하였다. 고등어 필렛을 1 × 1 × 1 cm로 절단한 후 색차계(JC801, Color Techno System Corporation, Tokyo, Japan)를 활용하여 표면색도를 측정하였다. 고등어를 반으로 분리 후 뼈가 붙어있지 않은 면에서 가운데 세로 선을 기준으로 내장 위치의 반대 면을 (A)로 하고, 내장 위치 면을 (B)로 구분하였다(Fig. 7). (A)와 (B) 부위로 구분하여 표면색을 L, a, b 수치로 측정한 후, 초기 시료의 색으로부터 저장 중 색 변화에 대해 색차지수(△E = $\sqrt{(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2}$)로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. MAP 조건에 따른 고등어 필렛 포장 내 기체 농도 변화

Fig. 1은 고등어 필렛에 대해 5°C에서 10일 저장동안 포

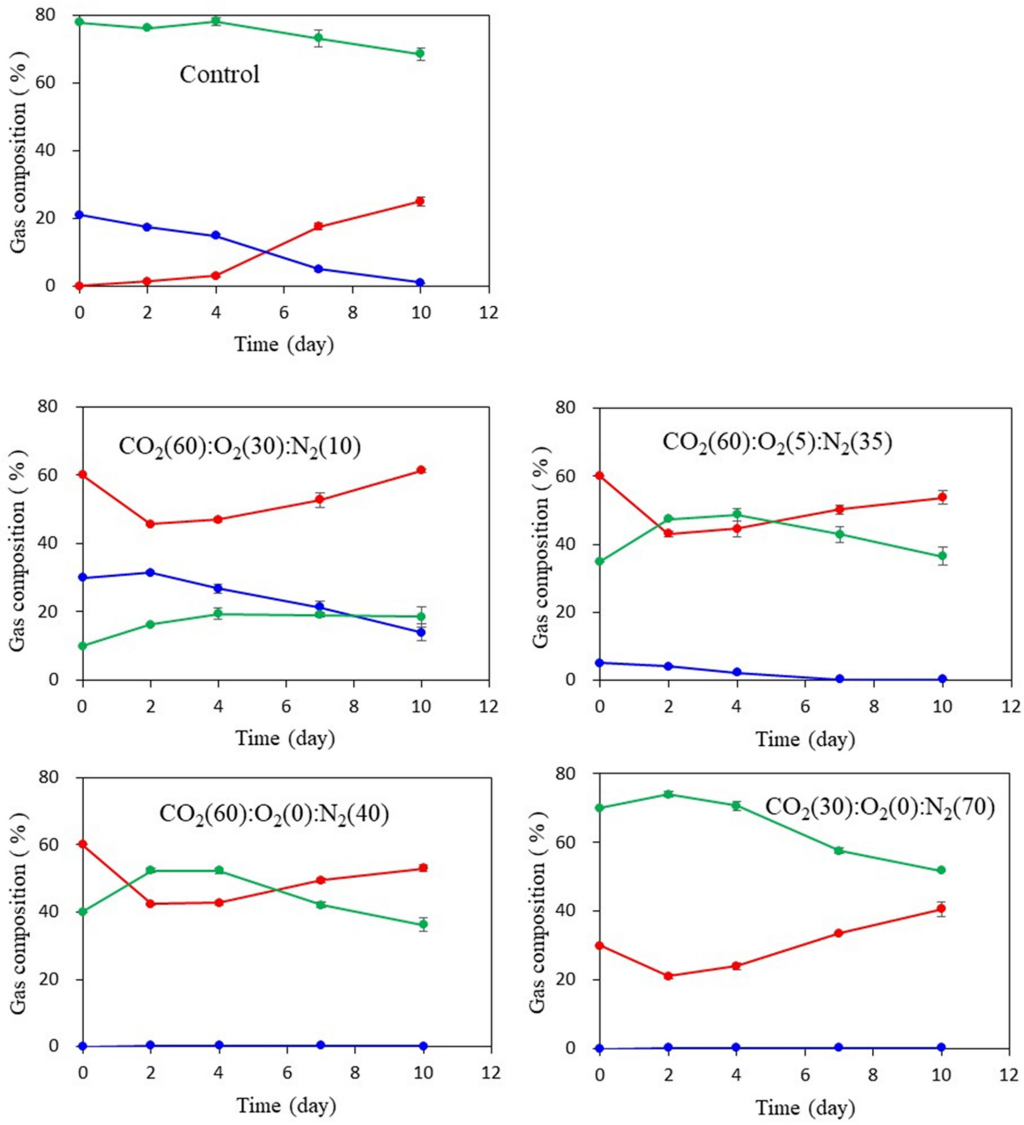

Fig. 1. CO_2, O_2, and N_2 concentrations of mackerel fillets packages flushed with different atmospheres during storage 10 days at 5°C. ●: CO_2, ●: O_2, ●: N_2. Vertical bars are standard deviations.

장 내 형성된 기체농도 변화이다. 함기포장(대조구)의 경우 저장 2일에 O_2가 초기 21%로부터 17.4%로 감소하고, CO_2가 초기 0%에서 1.4%로 증가하기 시작하여 저장 10일에 O_2는 1.1%로 떨어졌으며, CO_2는 25.1%로 증가하였다. $CO_2(60):O_2(30):N_2(10)$ 포장 처리구는 포장 후 저장 2일에 CO_2의 용해성으로 인해 45.7%로 감소 후 유지되다가 저장 10일에 61.3%까지 증가하였으며, O_2는 지속적으로 감소하기 시작하여 저장 7일 이후 20% 이하로 감소하였다. $CO_2(60):O_2(5):N_2(35)$ 포장 처리구는 포장 후 저장 2일에 CO_2의 용해성으로 인해 43.1%로 감소 후 유지되다가 저장 10일에 53.7%까지 증가하였으며, O_2는 지속적으로 감소하기 시작하여 저장 7일 이후 0% 이하로 감소하였다. $CO_2(60):O_2(5):N_2(35)$ 포장 처리구에 비해 포장 내 O_2 함량이 높은 함기포장과 $CO_2(60):O_2(30):N_2(10)$ 포장 처리구에서 O_2 및 CO_2 농도 변화 정도가 큰 것으로 나타났다. 이는 포장 내 O_2 농도에 따라서 활발해진 총 호기성균의 증식에 따른 O_2 소비와 CO_2 생산에 의한 것으로 이해되며, O_2 감소는 일부 산화에도 관여하는 것으로 보고되어 있다[21]. $CO_2(60):O_2(0):N_2(40)$ 포장 처리구는 포장 후 저장 2일에 42.4%로 감소 후 유지되다가 저장 10일에 53.0%로 증가하였다. $CO_2(30):O_2(0):N_2(70)$ 포장 처리구는 포장 후 저장 2일에 21.1%로 감소 후 유지되다가 저장 10일에 40.6%로 증가하였다.

2. 고등어 필렛의 미생물적 품질 변화

저장 및 유통 동안 신선 제품의 유통기한 연장에 가장

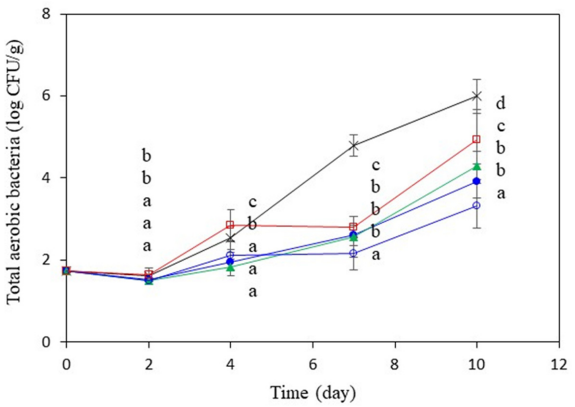

Fig. 2. Total aerobic bacteria of mackerel fillets packaged in different treatments during storage 10 days at 5°C. x: Control, ●: CO_2(60):O_2(30):N_2(10), ▲: CO_2(60):O_2(5):N_2(35), ○: CO_2(60): O_2(0):N_2(40), □: CO_2(30):O_2(0):N_2(70). Vertical bars are standard deviations. Different letters for the same storage times mean significant difference among treatments at $\alpha = 0.05$.

중요한 인자는 미생물의 증식 정도이다. Fig. 2에서 함기포장과 MAP 조건에 따른 저장 중 호기성 총균수 측정을 통해 미생물적 저장 안정성을 확인하였다. 함기포장은 포장 초기부터 포장 내 21% O_2 농도로 인해 초기 1.73 log CFU/g에서 6.00 log CFU/g으로 총 호기성균 증식이 높았으며, 4가지 MA 조건 처리구와 비교 시 유의적인 차이가 있었다. Fig. 1에 제시된 함기포장에서 포장 내 O_2 농도가 1.1%로 감소하고, CO_2 농도가 25.1%으로 증가하는 것으로 보아 총 호기성균의 증식에 기인한 것으로 보인다. 포장 내 CO_2 농도가 60%인 CO_2(60):O_2(30):N_2(10), CO_2(60):O_2(5):N_2(35), CO_2(60):O_2(0):N_2(40)의 MAP 조건은 1.73 log CFU/g에서 3.33~4.31 log CFU/g으로 유지되어 균 증식을 억제시켰다. Stamatis와 Arkoudelos[9]도 고등어 제품에 대해 50% 이상의 CO_2 농도 조건에서 미생물 증식 억제와 유통기한 연장 효과를 확인하였다. 즉, 저장 6일기준 3°C와 6°C에서 대조구 포장 시료에서 총 호기성균은 7 log CFU/g 이상으로 증식하였고, 50% 이상의 CO_2 농도 조건에서는 약 4 log CFU/g으로 증식하였다. 이 연구 결과는 본 연구 결과와 직접 비교는 힘들지만, 본 연구에서 저장 7일에 총 호기성균은 대조구 포장 시료에서 약 5 log CFU/g, MAP 처리구에서는 2.1~2.8 log CFU/g로 측정되어 Stamatis와 Arkoudelos[9]가 제시한 연구 결과와 비슷한 경향이었으며, 대조구 대비 MAP 포장이 현저한 미생물 증식 억제 효과를 보였다. 특히 포장 내 O_2가 없는 CO_2(60):O_2(0):N_2(40)의 MA 포장구에서 유의미하게 균 증식이 가장 낮았다. CO_2(30):O_2(0):N_2(70)의 MA 조건의 경우 CO_2(60):O_2(0):N_2(40) MA 포장구와 동일하게 포장 내 0% O_2 이더라도, 30% CO_2 농도는 60% CO_2 농도 보다 CO_2 농도가 낮아서 총 호기성균의 증식이 높았다. CO_2(60):O_2(0):N_2(40) 포장 처리구에 비해 CO_2(30):O_2(0):N_2(70) 포장 처리구에서 높은 총 호기성균의 증식으로 인해 더 많은 CO_2 생산과 이로 인한 높은 CO_2 농도 변화가 확인되었다(저장 2일 21.1%에서 저장 10일 40.6%, Fig. 1). 한번 더 정리하면 총 호기성균은 CO_2(30):O_2(0):N_2(70)와 CO_2(60):O_2(0):N_2(40) 포장 처리구에서 비교 시 CO_2(60):O_2(0):N_2(40) 포장 처리구에서 균 증식 억제 효과가 높았으며, 이는 높은 CO_2 농도의 효과이다. CO_2 농도가 높은 CO_2(60):O_2(30):N_2(10), CO_2(60):O_2(5):N_2(35), CO_2(60):O_2(0):N_2(40)의 포장 처리구에서는 산소가 없는 CO_2(60):O_2(0):N_2(40)의 균 증식이 낮았는데, 상대적으로 포장 내 높은 O_2 농도에 의해서 균 증식이 촉진되었다.

3. 고등어 필렛의 이화학적 품질 변화

대조구와 MA 포장 처리구에서 저장 중 고등어 필렛 어육의 표면에 대해 측정된 pH는 6.52~7.01 범위에 있다 (Fig. 3). 초기 고등어 필렛 표면의 pH는 6.77로써 Goulas 등[8]이 제시한 pH 6.18과 Stamatis와 Arkoudelos[9]가 제시한 pH 5.9보다 약간 높았으며, 이는 어획 시기 및 장소, 어육의 손질방법, pH 측정방법 등에 따라 차이가 있는 것으로 확인된다[22]. 저장 7일에 CO_2(60):O_2(0):N_2(40) 포장 처리구 내 어육의 pH는 6.68로 처리구 중 가장 낮았고, CO_2(30):O_2(0):N_2(70) 포장 처리구 내 어육의 pH는 7.01로 가장 높았다. CO_2(60):O_2(0):N_2(40) 포장 처리구 내 높은 농도의 CO_2가 어육 내로 많이 녹아 들어 어육의 pH를 떨어뜨린 것으로 보인다[8]. MA 포장에서 어육 내 CO_2가 용해되면 탄산이온의 용해로 낮은 pH를 형성하는데[8], CO_2(30):O_2(0):N_2(70) 포장 처리구 내 어육의 pH 7.01은 함기포장 pH 6.90과 비슷한 수치로 측정되었다. 이는 어육의

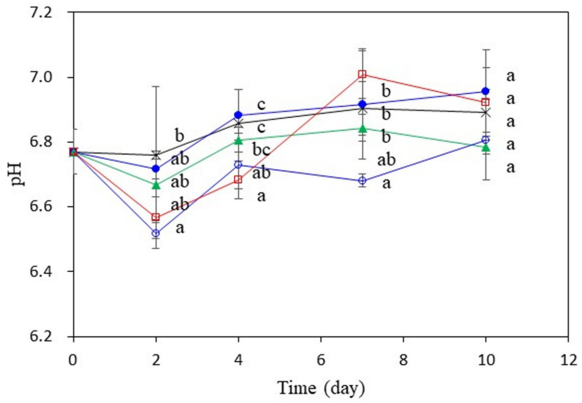

Fig. 3. pH of mackerel fillets packaged in different treatments during storage 10 days at 5°C. x: Control, ●: CO_2(60): O_2(30): N_2(10), ▲: CO_2(60):O_2(5):N_2(35), ○: CO_2(60):O_2(0): N_2(40), □: CO_2(30):O_2(0):N_2(70). Vertical bars are standard deviations. Different letters for the same storage times mean significant difference among treatments at $\alpha = 0.05$.

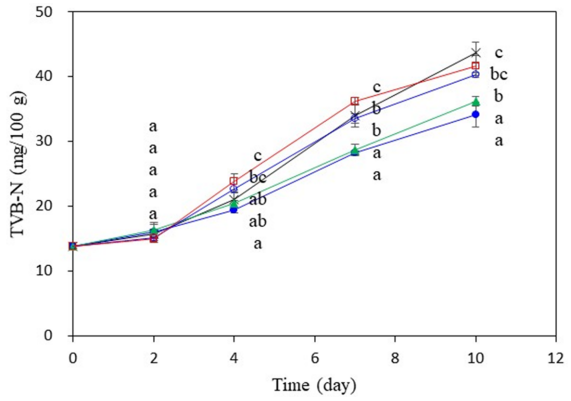

Fig. 4. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) of mackerel fillets packaged in different treatments during storage 10 days at 5°C. x: Control, ●: CO_2(60):O_2(30):N_2(10), ▲: CO_2(60):O_2(5):N_2(35), ○: CO_2(60):O_2(0):N_2(40), □: CO_2(30):O_2(0):N_2(70). Vertical bars are standard deviations. Different letters for the same storage times mean significant difference among treatments at $\alpha = 0.05$.

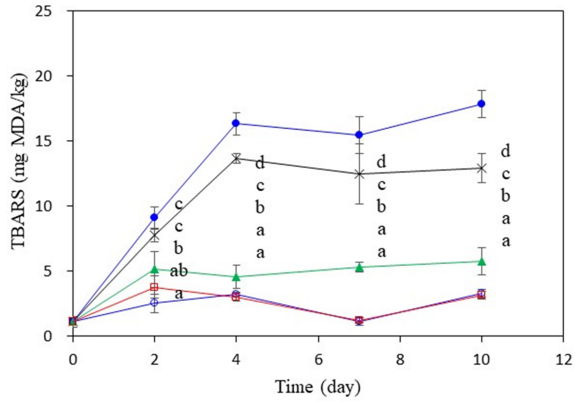

Fig. 6. TBARS of mackerel fillets packaged in different treatments during storage 10 days at 5°C. x: Control, ●: CO_2(60):O_2(30):N_2(10), ▲: CO_2(60):O_2(5):N_2(35), ○: CO_2(60):O_2(0):N_2(40), □: CO_2(30):O_2(0):N_2(70). Vertical bars are standard deviations. Different letters for the same storage times mean significant difference among treatments at $\alpha = 0.05$.

부패가 진행되면 알칼리성 대사 산물이 생성되고 휘발성 염기 물질이 증가하여 pH가 증가하는 것으로 이해되며[23], 이는 Fig. 4에서 CO_2(30):O_2(0):N_2(70) 포장구의 총 휘발성 염기질소 함량이 높은 것을 확인할 수 있었다. 식품공전의 기준에 의하면 신선한 어육은 총 휘발성 염기질소 함량이 5~10 mg/100 g, 보통 선도의 어육은 15~25 mg/100 g, 30~40 mg/100 g이면 부패 초기의 어육으로 간주하고, 50 mg/100 g 이상이면 부패 어육으로 분류한다. 총 휘발성 염기질소 선도한계점은 20 mg/100 g을 기준으로 정해져 있다. 함기포장을 포함한 모든 MA 처리구에서 저장 2일까지 선도한계점인 20 mg/100 g 이내였으며, 저장 4일에 CO_2(60):O_2(30):N_2(10)와 CO_2(60):O_2(5):N_2(35)의 MA 포장 처리구에서 선도한계점에 도달되고 있다. 저장 7일에 함기포장, CO_2(60):O_2(0):N_2(40), CO_2(30):O_2(0):N_2(70) 포장 처리구에서 총 휘발성 염기질소 함량이 30 mg/100 g 이상으로 초기 부패 어육 단계에 해당되는 것으로 확인되었다. 즉, 어육의 부패가 진행되면 미생물 증식과 효소가 서서히 단백질을 분해시키고 이로 인해 생성되는 각종 염기성 물질 등에 의하여 어육의 pH와 총 휘발성 염기질소 함량을 증가시키는 것으로 본다[23]. Fig. 5와 Fig. 6은 저장 동안 지질의 산패도를 알아보기 위해 측정된 POV와 TBARS를 보여주고 있다. 포장 내 O_2 농도 함량에 비례하여 CO_2(60):O_2(30):N_2(10), 대조구, CO_2(60):O_2(5):N_2(35)의 순으로 지질의 산화 정도를 나타내는 수치가 높았으며, 포장 내 O_2가 포함되어 있지 않은 CO_2(60):O_2(0):N_2(40)와 CO_2(30):O_2(0):N_2(70) 처리구에서 수치가 낮은 것으로 보아 산화가 지연되는 것으로 추정된다. 저장 2일에 CO_2(60):O_2(30):N_2(10) 포장 처리구가 함기포장에 비해 POV 수치가 낮은 것으로 보였으나, 저장 4일 이후에 함기포장보다 급격하게 산화가 촉진되어 POV와 TBARS가의 수치가 가장 높았다. 산화 정도에 따라 품질지표 범위를 2-4 mg MDA/kg으로 제시하기도 하지만, malondialdehyde (MDA) 물질이 다른 성분들과 상호작용할 수 있기 때문에 지질 산화의 직접적인 지표로 반영할 수는 없다[24]. 그렇지만, TBARS는 과산화수소와의 반응에 의해 형성된 MDA 물질을 측정하는 것으로 저장 기간에 따른 산화 정도를 설명할 수 있다. 특히 고등어는 붉은살 생선으로 흰살 생선에 비해 상대적으로 지질 함량이 높아 포장 내 존재하는 O_2 농도의 영향으로 지질의 산화가 촉진되는 것으로 보인다. Fig. 7은 고등어 필렛의 (A) 부위(내장 위치의 반대 면)와 (B) 부위(내장 위치 면)에 초기 시료의 색 대비 저장 중 색변화를 색차지수인

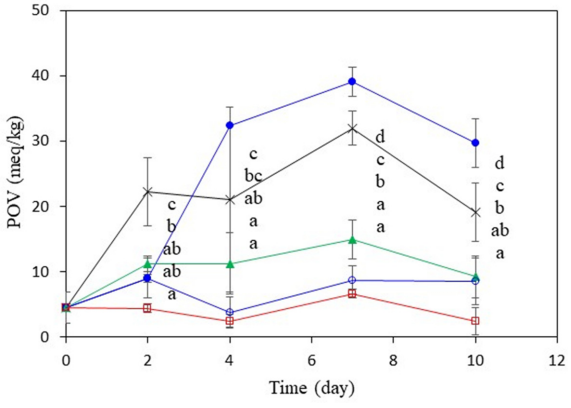

Fig. 5. Peroxide value (POV) of mackerel fillets packaged in different treatments during storage 10 days at 5°C. x: Control, ●: CO_2(60):O_2(30):N_2(10), ▲: CO_2(60):O_2(5):N_2(35), ○: CO_2(60):O_2(0):N_2(40), □: CO_2(30):O_2(0):N_2(70). Vertical bars are standard deviations. Different letters for the same storage times mean significant difference among treatments at $\alpha = 0.05$.

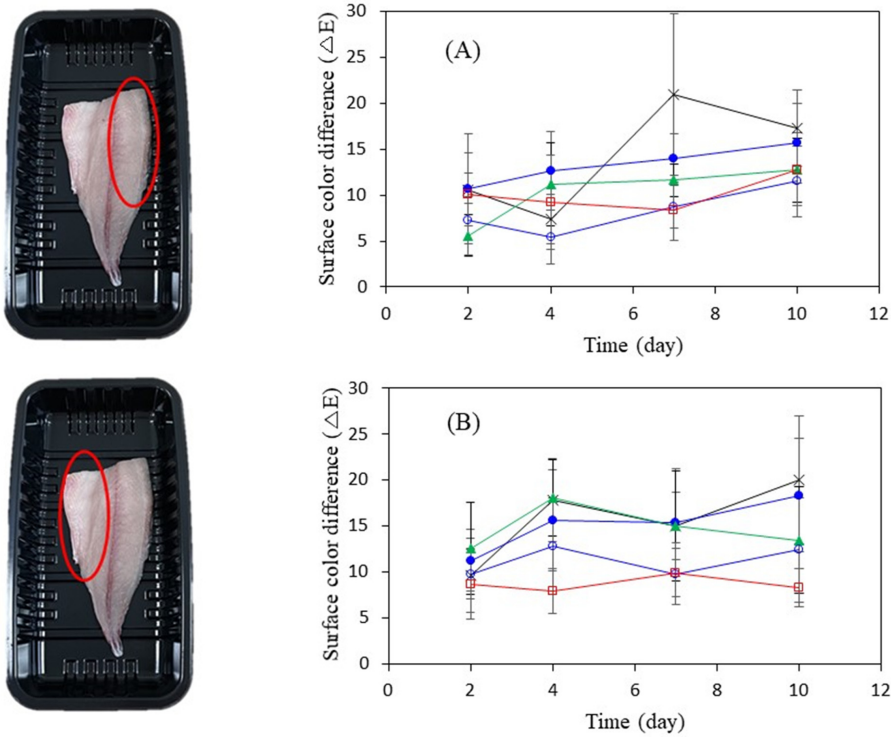

Fig. 7. Surface color difference (△E) of mackerel fillets packaged in different treatments during storage 10 days at 5°C. (A) Surface opposite to viscera, (B) Surface near viscera. x: Control, ●: CO_2(60):O_2(30):N_2(10), ▲: CO_2(60):O_2(5):N_2(35), ○: CO_2(60):O_2(0):N_2(40), □: CO_2(30):O_2(0):N_2(70). Vertical bars are standard deviations. Different letters for the same storage times mean significant difference among treatments at $\alpha = 0.05$.

Table 1. Hardness (g_f) for storage time (day)

Treatment	Storage time (day)				
	0	2	4	7	10
Control	44.3±9.4	31.5±8.5	32.8±9.4	33.2±8.9	27.0±8.7
CO_2(60):O_2(30):N_2(10)	44.3±9.4	28.2±6.8	31.8±9.9	34.4±6.2	32.6±8.4
CO_2(60):O_2(5):N_2(35)	44.3±9.4	33.8±9.3	31.8±8.7	28.1±5.7	33.6±3.4
CO_2(60):O_2(0):N_2(40)	44.3±9.4	30.3±7.5	34.8±4.4	34.3±13.0	30.5±8.8
CO_2(30):O_2(0):N_2(70)	44.3±9.4	29.3±11.0	32.5±12.1	30.0±6.1	30.5±7.2

△E로 표현하였다. 시료간 높은 편차로 포장별 뚜렷한 효과를 확인하기에는 어려움이 있으나, 포장 내 O_2 농도가 높을 경우 미생물적 부패로 인한 어육의 표면색 변화로 다소 높은 수치의 △E를 나타내었다. 특히, 저장 7일에 함기포장에서 호기성 총균수의 증가로 부패가 촉진되었고(Fig. 2), 이는 초기 어육의 색 대비 색차지수도 높아지게 하는 것으로 확인할 수 있었다. 이는 Fig. 8에 제시된 제품 사진으로도 확인 가능하다. Table 1에 제시된 고등어 필렛에 대한 조직감의 경우 저장 10일 동안 함기포장을 포함한 MA 포장 처리구별 뚜렷한 경향을 확인할 수 없었다. 고등어 필렛 시료간 부위별 원료의 편차가 커서 포장별 뚜렷한 효과를 확인하기에는 어려움이 있었다. 초기 경도 수치 대비 저장 중 전체적으로 경도 값이 감소하였다.

요 약

MAP(변형기체포장)가 고등어 필렛의 품질유지에 미치는 효과를 5°C에서 10일 동안 저장하면서 확인하였다. 포장 내 CO_2 농도가 높은 CO_2(60):O_2(30):N_2(10), CO_2(60):O_2(5):N_2(35), CO_2(60):O_2(0):N_2(40)의 MA 조건에 포장된 고등어 필렛에서 총 호기성균 증식 억제 효과가 있었다. 포장 내 CO_2 농도가 높으면서 O_2를 함유하고 있는 CO_2(60):O_2(30):N_2(10)와 CO_2(60):O_2(5):N_2(35)의 MA 조건에서 총 휘발성 염기질소 함량이 낮았다. 지질의 산패도를 나타내는 POV와 TBARS 함량은 포장 내 O_2 함량이 높은 CO_2(60):O_2(30):N_2(10)의 MA 조건에서 높은 수치를 보였으며, 이때 고등어의 외관적 색변화도 빨라지는 것으로 확인되었다.

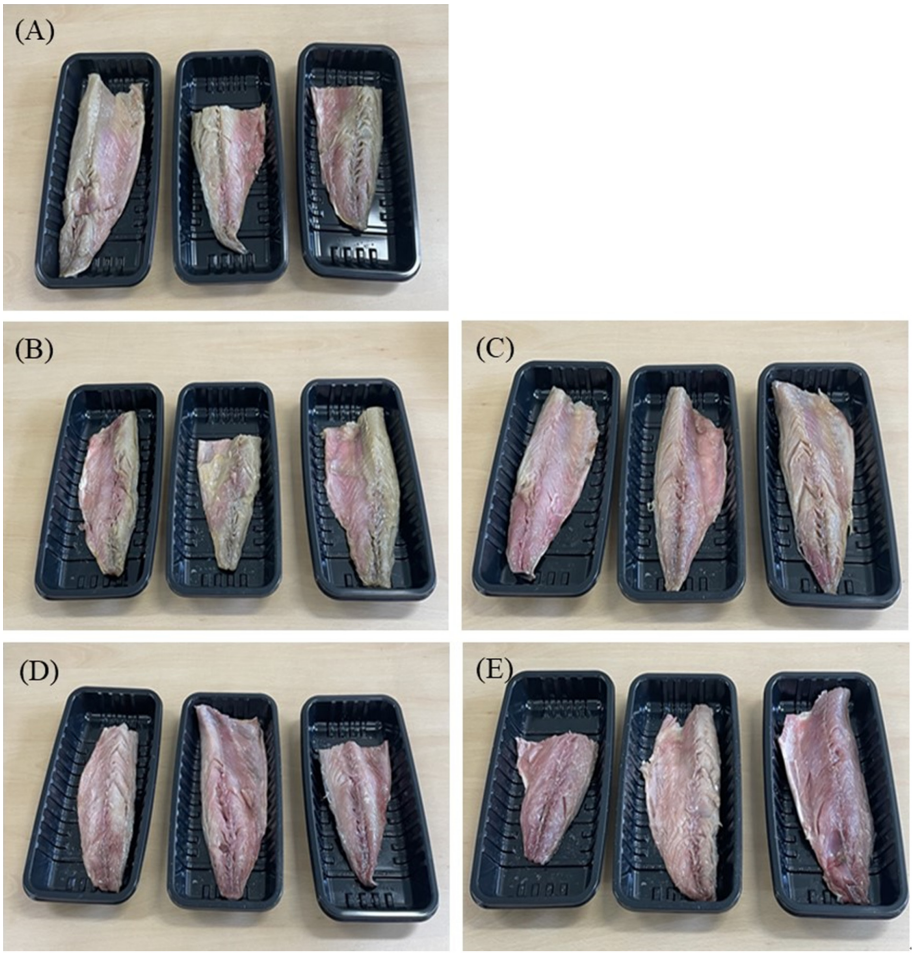

Fig. 8. Appearance of mackerel fillets packaged in different treatments at storage 7 days. (A) Control, (B) CO_2(60):O_2(30):N_2(10), (C) CO_2(60):O_2(5):N_2(35), (D) CO_2(60):O_2(0):N_2(40), (E) CO_2(30):O_2(0):N_2(70).

종합적으로 검토해 본 결과, CO_2(60):O_2(5):N_2(35)과 CO_2(60):O_2(0):N_2(40)의 MAP 조건이 고등어 필렛의 품질유지에 효과가 있는 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 수산물 신선유통 스마트 기술개발 사업에 의하여 이루어졌으며 연구비 지원에 감사드립니다 (#1525011894).

참고문헌

1. 수산물 소비행태와 인식. 2022. 한국해양수산개발원, 43.
2. 2022년 수산물 생산 및 유통산업 실태조사. 2022. 해양수산부.
3. Kim, J.S., Yeum, D.M., Kang, H.G., Kim, I.S., Kong, C.S., Lee, T.G. and Heu, T.G. 2002. Fundamentals and applications for canned foods. Hyoil Publishing Co, Seoul, Korea, pp. 32-36.
4. Romotowska, P.E., Gudjonsdottir, M., Karlsdottir, M., Kristinsson, H.G. and Arason, S. 2017. Stability of frozen Atlantic mackerel (*Scomber Scombrus*) as affected by temperature abuse during transportation. *J. Food Sci. Technol.* 275-282.
5. Park, S.Y. 2009. Food quality evaluation of raw salted mackerel collected at market in Busan. MS thesis Pukyong National University, Pusan, Korea.
6. Tsoukalas, D., Kendler, S., Lerfall, J. and Jakobsen, A.N. 2022. The effect of fishing season and storage conditions on the quality of European plaice (*Pleuronectes platessa*). *Food Sci. Technol.* 170, 114083.
7. Lee, D.S. 2021. Modified atmosphere packaging of foods: Principles and Applications. Hobokon, NJ, USA: John Wiley and Sons. pp. 1-18.
8. Goulas, A.E. and Kontominas, M.G. 2007. Effect of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on the shelf-life of refrigerated chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes. *Eur. Food Res.Technol.* 224, 545-553.
9. Stamatis, N. and Arkoudelos, J. 2007. Quality assessment of *Scomber colias japonicus* under modified atmosphere and vacuum packaging. *Food Cont.* 18, 292-300.

10. Giménez, B., Roncalés, P. and Beltrán, J.A. 2002. Modified atmosphere packaging of filleted rainbow trout. *J. Sci. Food Agric.* 82, 1154-1159.
11. Jo, K.S., Kim, H.K., Kang, T.S. and Shin, D.H. 1988. Effect of packaging method on - 50 - the storage stability of filleted mackerel products. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20(1), 6-12.
12. Rodrigues, B.L., da Silveira Alvares, T., Sampaio, G.S.L., Cabral, C.C., Araujo, J.V.A., Franco, R.M., Mano, S.B. and Conte Junior, C.A. 2016. Influence of vacuum and modified atmosphere packaging in combination with UV-C radiation on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Food Cont.* 60, 596–605.
13. Bakar, A. 2013. Effect of modified atmosphere packaging on microbial flora changes in fishery products. *Int. Food Res. J.* 20, 17-26.
14. Lim, H.T., Lee, W.D., Kim, G.N., Lee, D.S. and Paik, H.D. 2002. Extension of shelf-life of the low-salted myungran joet-gal (soused roe of Alaska pollack) packaged under modified atmosphere. *Food Sci. Biotechn.* 11(4), 412-416.
15. Park, E.J., Kim, S.C. and An, D.S. 2023. Effect of modified atmosphere packaging gas composition on quality preservation of Korean rockfish fillets. *Korean J. Packag. Sci. Technol*. 29(3), 145-151.
16. Park, E.J., Jung, S.Y., Kim, S.C., Lee, D.S. and An, D.S. 2023. Modified atmosphere packaging of flounder fillet: Modeling of package conditions and comparison of different flushing atmospheres in quality preservation. *Int. Food Res. J.* 30(6), 1519-1527.
17. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2023. General analytical method. In: Korean Food Code. Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/ FC.
18. Conway, E.J. and Byrne, A. 1933. An absorption apparatus for the micro-determination of certain volatile substances. I. The micro-determination of ammonia. *J. Biochem.* 27, 419-429.
19. Bligh, E.G. and Dyer, W.J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37(8), 911-917.
20. Buege, J. A. and Aust, S. D. 1978. Microsomal lipid peroxidation. In: Methods in Enzymology, Vol. 52. ed. by Fleischer, S., Packer, L., Academic Press, New York, USA. pp. 302-310.
21. Sivertsvik, M., Jeksrud, W. K. and Rosnes, J. T. 2002. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products – significance of microbial growth, activities and safety. *Int. J. Food Sci. Tech.* 37, 102-127.
22. Hashimoto, K. and Yamashita, M. 2017. Seasonal variation in quality and chemical composition of the muscles of the spotted mackerel *Scomber australasicus* and Pacifc mackerel *S. japonicus*. *Fish. Sci.* 85, 767-775.
23. Abbas, K.A., Mohamed, A., Jamilah, B. and Ebrahimian, M. 2008. A review on correlations between fish freshness and pH during cold storage. *American J. Biochem. Biotech.* 4(4), 416-421.
24. Kostaki, M., Giatrakou, V., Savvaidis, I.N. and Kontominas, M.G. 2009. Combined effect of MAP and thyme essential oil on the microbiological, chemical and sensory attributes of organically aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Food Microbiol.* 26, 475-482.

투고: 2024.05.14 / 심사완료: 2024.06.07 / 게재확정: 2024.07.09