

시판 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온 유통시 효율적인 수산물 선도지표 설정

이지운¹ · 허민수^{1,2} · 이정석^{1,3*}

¹경상국립대학교 해양산업연구소, ²경상국립대학교 식품영양학과, ³경상국립대학교 해양식품공학과

Establishment of Effective Freshness Indicators for Seafood During Room-Temperature Distribution Using Commercial Cold Packs and Styrofoam Boxes

Ji Un Lee¹, Min Soo Heu^{1,2} and Jung-Suck Lee^{1,3*}

¹Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

²Department of Food and Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

³Department of Seafood Science and Technology, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

Owing to the lack of a cold-chain distribution system, most seafood is generally distributed under room temperature conditions. However the degradation of freshness during the distribution process can lead to disputes between sellers and consumers. The most widely used method for low-temperature distribution for seafood includes packaging it with styrofoam boxes and cold packs. In this study, vacuum-packed frozen fillets of four fish species of [white meat (*Paralichthys olivaceus* and *Sebastes schlegelii*) and red meat (*Scomber japonicus* and *Scomberomorus niphonius*)] were placed in styrofoam boxes with cold packs. Thereafter, changes in chemical (including pH, volatile basic nitrogen, and trimethylamine), physical (odor intensity, hardness, and chewiness), and microbial (viable cell count) characteristics of the fillets were measured during storage at 25°C. To identify the suitable method of determining freshness during the room-temperature distribution, several factors were considered, which included significant difference verification, correlation coefficients, and economic efficiency (experimental cost and time). Volatile basic nitrogen, pH, odor intensity, and viable cell count are the most rapid and accurate freshness indicators for determining freshness of frozen fish fillets during.

Keywords: Cold pack, Freshness indicator, Room-temperature distribution, Seafood quality, Styrofoam box

서 론

수산물은 육조식이 연약하고, 사후변화에 관여하는 조직 중의 효소활성이 축육류에 비해 강하여 육질의 단백질 변성이 빠르게 일어나 부패하기 쉬우며, 미생물 변화 및 지질산화 등이 부패의 주요 요인으로 알려져 있다(Kulawik et al., 2013). 또한, 어획 전후 부적절한 환경에서의 수산물 취급(Huss et al., 2000) 및 포장 방법 등이 부패 속도를 가속화시킬 수 있다(Cayre et al., 2003). 수산물의 이런 특징으로 인하여 국내 소비자들은 수산물 구입시 신선도(46.9%)를 가장 중요한 요소로 생각하고 있으며(KREI, 2021), 가장 시급하게 개선되어야 할 것으로 수산

물 취급·관리 안전도 향상(26.1%) 및 유통·판매 중 신선도 유지(20.4%) 등을 제시하였다(KMI, 2021). 수산물은 해당작용, 사후경직, 해경, 자가 소화 및 부패의 순으로 사후변화 단계를 거치며, 사후 선도가 빠르게 저하되는 특성을 갖고 있다(Lee, 2020). 이러한 수산물의 부패 특성으로 인하여 보관하는 온도나 시간이 품질 결정의 주요 요소이며, 일관된 온도관리가 매우 중요하다(Prabhakar et al., 2020). 수산물은 농축산물 보다 안전관리가 상대적으로 취약하여 생산, 가공, 유통 및 판매과정에서 체계적인 선도관리 체계를 갖추지 못하고 있는 실정이다. 대부분 수산물이 상온으로 유통되고 있어 유통과정 중 품질저하와 부패에 의한 손실이 많게는 30% 정도 발생하고 있다고 알

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9145 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: jungucklee@gnu.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.2022.0670>

Korean J Fish Aquat Sci 55(5), 670-680, October 2022

Received 23 September 2022; Revised 8 October 2022; Accepted 13 October 2022

저자 직위: 이지운(연구원), 허민수(교수), 이정석(교수)

려져 있어 수산물 유통에 있어 저온물류체계의 도입이 필요하다. 또한, 코로나19 이후 비대면 온라인 소비가 광범위하게 확대되어 택배 등 배달문화가 크게 성장하였으나(Gavilan et al., 2021), 부족한 저온유통 설비 구축으로 인해 유통 중 위생 상태 및 신선도 불량 등의 사례가 일부 발생하고 있어 식품·유통업계 및 소비자간 분쟁이 발생하기도 한다.

식품공전에 따르면 냉동, 냉장제품 운반기준에서는 '냉동 또는 냉장제품은 적절한 온도를 유지할 수 있는 냉동 또는 냉장차량이거나 이와 동등한 효력이 있는 방법'으로 운반하도록 규정하고 있어(MFDS, 2021b) 수산물과 같은 신선식품의 택배 유통에는 가격면에서 저렴한 수단으로 알려져 있는 스티로폼 박스 및 보냉팩 등의 포장방법이 폭넓게 적용되고 있다(Margeirsson et al., 2011; Lee and Cho, 2020). 스티로폼 박스는 밀도가 낮고 기포 층이 많아 쉽게 파손되고, 이로 인해 발생하는 부스러기는 인체에도 유해한 미세플라스틱이 되어 심각한 환경오염을 유발할 수 있으며, 재활용 비용보다 새로 생산하는 비용이 더 적어 사용 후 주로 버려지고 있는 단점을 가지고 있다(Ryu et al., 2019). 이러한 문제점을 개선하기 위하여 2021년부터 해양수산부는 '수산물 신선유통 스마트 기술개발사업'을 추진하고 있으며, 사업 내용 중 하나로써 '스티로폼 대체 포장재 및 새로운 보냉팩 개발'이 시도되고 있다. 새로운 개발제품의 효능 평가를 위해서는 현장에서와 동일한 조건에서 선도 유지능을 판정할 수 있는 효율적인 선도지표의 선정이 중요하다. 즉, 수산식품의 유통시 기존 일반화된 포장방법의 유효성 검증을 위한 선도판정 방법의 확립은 소비자에게 우수한 품질의 수산식품을 제공하는 기반이 될 수 있다. 한편, 수산물의 품질을 평가하는 선도판정은 원료의 품질과 위생적인 안전성 측면에서 정확하게 실시되어야 하며, 선도판정의 지표를 설정하는 데에는 결과의 정확성, 간편·신속, 실용성 등이 고려되어야 한다. 수산물의 사후 변화는 복잡하고 여러 가지 요인에 따라 신선도 차이가 많아 한 가지의 지표물질만으로 선도를 정확하게 판단하기가 어려워서 기존 관능적, 화학적, 물리적 및 미생물학적 판정법 등이 병용되어 선도판정법으로 활용되고 있으나(Kim et al., 1998; Özogul et al., 2005; Shim et al., 2010), 방법이 많고 다양하여 대중적인 저온유통 방법인 스티로폼 박스 및 보냉팩 유통시 선도 판정에 적합한 지표를 우선적으로 검토할 필요가 있다.

지금까지 진행된 수산물의 선도 및 저장 중 품질 변화 관련 연구로는 스티로폼 박스를 활용한 생선 포장 방법의 테스트 및 개선을 위한 radio frequency identification 온도 모니터링(Trebar et al., 2015), 냉동 저장 온도가 고등어의 저장성에 미치는 영향(Joo et al., 2016), 냉장 저장 중 고등어(*Scomber japonicus*)의 선도지표 개발을 위한 품질 특성 평가(Park et al., 2016), 다양한 저장 온도 및 포장 조건에서의 해산물 부패 미생물 및 관련 휘발성 유기 화합물(Odeyemi et al., 2018), 갈치(*Trichiurus lepturus*)의 선도 판정을 위한 관능평가 및 화학적 분석에 따른 품질 평가(Yu et al., 2019), 고등어 신선도 유지를 위한 해수와

담수 얼음의 저장효과(Lee, 2020), 수산물 신선도 모니터링을 위한 휘발성염기질소에 반응하는 색도계 및 광학지표의 개발(Ma et al., 2021) 등 다양한 연구가 이루어졌지만, 국내 수산물의 저온 유통시 가장 많이 활용되는 포장방법(스티로폼 박스 및 보냉팩)에 대한 효율적인 선도지표 설정과 관련된 연구는 아직까지 진행된 바 없다.

본 연구에서는 생산량, 소비량 및 대중적 인지도가 높은 백색육 어종인 광어(*Paralichthys olivaceus*) 및 볼락(*Sebastes schlegelii*)과 적색육 어종인 고등어(*S. japonicus*) 및 삼치(*Scomberomorus niphonius*)를 원료로 하여 냉동 필렛 형태로 진공포장 한 후 스티로폼 박스 및 보냉팩을 이용한 상온(25°C)에서의 저장시간별 선도변화를 실험하여 효율적인 선도지표를 선정하고자 하였다. 선도판정 방법으로는 화학적(pH, 휘발성 염기질소, 트리메틸아민, 바이오제닉 아민), 물리적(냄새강도, 경도 및 씹힘성), 미생물학적(일반세균수) 방법이 적용되었고, 일반적으로 객관성 및 재현성이 떨어지며 복합적인 다른 요인에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려진 관능적 평가방법(Chai et al., 1994)은 생략하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용된 원료어인 광어, 우럭 및 고등어는 경남 통영시 연근해에서 양식된 것을 통영 전통수산시장에서, 삼치는 여수시에 소재하고 있는 Y업체에서 2021년 9월에 각각 구입하였다. 4종의 활어를 머리, 꼬리 및 내장을 제거하고 필렛형태로 잘라 진공포장기(FM2080-071; Food Saver, Oklahoma City, OK, USA)를 사용하여 진공포장한 후 경상국립대학교 해양과학대학 수산가공관 냉동창고(Unit cooler; Kyungdong Co., Paju, Korea)에서 -18°C로 12시간 냉동보관하여 실험에 사용하였다. 또한, 시료 및 보냉팩(Cold pack; Kkong kkong Ice Pack, Tongyeong, Korea)을 보관하는 저장 용기로 길이 26 cm, 폭 26 cm, 깊이 20 cm (내측, 길이 22 cm, 폭 22 cm, 깊이 15 cm) 및 무게 약 105 g의 스티로폼 박스(eps box; Samil Co., Ltd., Hwaseong, Korea)를 사용하였으며, 경상남도 통영시에 소재하고 있는 업체로부터 구입하였다. 보냉팩의 경우 저온 유지를 위해 고흡수성 수지를 원료로 한 제품(길이 19 cm, 너비 14 cm, 두께 2 cm 및 무게 356 g)을 사용하였으며, 경상남도 통영시에 소재하고 있는 업체로부터 구입하였다.

냉동 어류 필렛의 유통안전성 평가

4종의 냉동 어류 필렛의 저장 중 선도변화를 실험하기 위하여 보관 온도는 우리나라의 최근 30년간(1991-2020년) 8월 평균 기온인 25.6°C를 참조하여 설정하였으며(KMA, 2021), 보관 기간은 통상적으로 택배 배송 기간인 2일을 고려하여 2일 이상으로 하였다. 즉, 냉동 어류 필렛(어종 한 마리 당 무게, 약

150 g)을 스티로폼 박스에 보냉팩 2개와 함께 넣은 다음 테이프로 밀봉한 후 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 유지되는 저장창고에 60–84시간 보관하여 우리나라 여름철 유통환경과 유사한 조건에서 선도변화를 측정하였다.

pH

pH는 각 시료를 마쇄한 검체를 사용하였고, 식품공전(MFDS, 2021c)에서 언급한 방법에 따라 처리한 후 pH meter (Starter 3100; Ohaus, Parsippany, NJ, USA)로 측정하였다.

휘발성 염기질소

휘발성 염기질소는 Kapute et al. (2012)에서 언급한 미량화산법으로 측정하였다. 휘발성 염기질소의 측정을 위한 전처리 시료는 시료 2 g에 20% (v/v) trichloroacetic acid 용액 2 mL를 넣어 잘 저어 섞은 후, 증류수 16 mL를 넣고 잘 저어 섞어 30분간 침출하고 여과하여 제조하였다. 이어서 휘발성 염기질소 함량의 측정을 위하여 Conway unit의 외실 왼쪽에 전처리 시료 용액 1 mL를, 오른쪽에 포화 탄산칼륨 1 mL를, 내실에 0.01 N H_2SO_4 1 mL와 지시약 2–3방울을 각각 가한 다음 글리세린을 바른 뚜껑으로 밀폐하고 조심스럽게 흔들여 주고, 20°C 에서 120분간 반응시켰다. 휘발성 염기질소 함량은 반응이 끝난 Conway unit 내실에 0.01 N 수산화나트륨으로 적정하여 계산하였다.

트리메틸아민

트리메틸아민(trimethylamine, TMA)은 AOAC (2000)법과 Shim et al. (2010)의 방법을 변형하여 측정하였다. 각 어류의 육을 분리하여 5 g 채취한 후 7.5% trichloroacetic acid 25 mL를 가하여 30분간 추출하였다. 추출액을 5,000 rpm에서 15분간 상층액이 투명해질 때까지 원심분리하여, 상층액 중 4 mL를 취하여 시험용액으로 사용하였다. 마개가 있는 시험관에 시험용액 4 mL를 취하고 10% formalin 용액 1 mL, 탈수 toluene 10 mL, K_2CO_3 포화용액 3 mL를 가하여 1분간 vortexing하였다. 혼합액을 실온에서 10분간 정치한 후 분리된 toluene 상층액을 7–9 mL 취하여 0.1 g 무수황산나트륨이 들어있는 시험관에 넣고 흔들여 탈수하였다. 탈수된 toluene 용액 5 mL를 취하고 이에 0.02% picric acid 용액 5 mL를 혼합하여 분광광도계(UV-1800; Shimadzu, Kyoto, Japan)로 410 nm에서 흡광도를 측정하였다.

바이오제닉 아민

바이오제닉 아민(biogenic amines)은 식품공전(MFDS, 2021a)에서 언급한 방법으로 실험하였다. 바이오제닉 아민 분석을 위하여 표준품(histamine; Sigma-Aldrich Inc., St. Louis, MO, USA) 및 내부표준물질(1,7-diaminoheptane; Sigma-Aldrich Inc.)을 0.1 N HCl에 녹여 1,000 mg/kg이 되도록 한 것을 표준원액으로 사용하였고, 표준품의 농도가 10 mg/kg이 되도록

희석한 것을 혼합 표준용액으로 하였다. 그리고 시험용액은 검체 5 g을 정확하게 취하여 0.1 N 염산 25 mL를 가한 다음 균질화, 원심분리(9,302 g, 4°C , 15 min) 및 여과하는 일련의 조작을 2회 반복하여 얻은 상층액을 합치고 0.1 N 염산을 가해 50 mL로 정용하여 사용하였다.

Dansyl chloride를 이용한 유도체화는 표준용액과 시험용액의 각각 1 mL를 마개 달린 유리시험관에 취한 다음 내부표준용액 100 μL 를 가한 후 포화탄산나트륨용액 0.5 mL와 1% dansyl chloride 아세톤용액 0.8 mL를 가하여 혼합한 후 마개를 한 다음, 반응(45°C , 1시간)하여 실시하였고, 유도체화 시킨 표준용액 및 시험용액에 10% 프롤린용액 0.5 mL를 가하여 과잉의 dansyl chloride를 제거하였다. 이어서 시험관에 에테르 5 mL를 가하여 약 10분간 진탕하고 상층액을 취하여 질소 농축한 뒤 아세토니트릴 1 mL를 가하여 membrane filter (Whatman International, Maidstone, Kent, UK)로 여과한 것을 시험용액으로 하였다.

바이오제닉 아민의 분석은 C18 (Agilent Eclipse XDB-C18, 25 cm \times 4.6 mm, 5 μm ; Agilent Technologies, CA, USA)이 장착된 HPLC-UV (Series 1200; Agilent Technologies)를 사용하여 실시하였다. 바이오제닉 아민의 분석을 위한 dansyl chloride 유도체의 이동상 조건은 55% acetonitrile을 최초 10분간 유지 후 15분까지 65%, 20분까지 80%로 하여 5분간 유지 후, 30분까지 90%로 하여 5분간 유지시켰다. 이 때, 유속은 1 mL/min로 하고, UV detector의 파장은 254 nm로 하였다.

조직감

조직감은 Seo et al. (2014)이 언급한 방법에 따라 측정하였다. 조직감 측정을 위해 길이(length) 및 높이(height)가 2.0 ± 0.1 cm의 시료를 사용하였고, 측정은 길이(length) 6.0 cm, 깊이(depth) 3.0 cm 및 폭(width) 0.3 cm의 probe (TA-7 knife edge probe)를 장착한 texture analyzer (CT 1.9; AMETEK Brookfield Inc., Middleborough, MA, USA)를 사용하였다. Texture Profile Analysis (TPA)로서, probe의 trigger load는 10 g, test speed는 1.0 mm/sec로 설정하였고, 시료에 힘이 가해지는 시점에서 시료 변형(deformation) 70%까지 압착한 결과로부터 경도와 씹힘성 값을 측정하였다. 모든 측정은 5회 반복 측정하였으며, 측정 소프트웨어(Texture Pro CT 1.9; AMETEK Brookfield Inc.)를 사용하여 TPA로 도출된 결과값은 최대값과 최소값을 제외한 3회 평균값으로 나타내었다.

냄새강도

냄새강도는 마쇄한 검체를 사용하여 Kang et al. (2014)이 언급한 방법에 따라 측정하였다. 즉, 냄새강도는 코니칼 튜브(50 mL conical tube, 30 \times 150 mm; SPL Life Science Co. Ltd., Pocheon, Korea)에 마쇄한 분석 시료 약 5 g을 넣고, 냄새강도기(Concentration meter, XP-329R; New Cosmos Electric Co. Ltd., Osaka, Japan)의 흡입구를 넣은 다음, 냄새가 휘발되지 않

계 파라필름(parafilm, 4 inch×125 feet; Curwood, WI, USA)으로 밀봉하여 냄새강도기로 측정하였다. 이때, mode는 batch로 설정하였고, 단위는 냄새 강도(level)로 나타내었다.

일반세균수

일반세균수의 측정은 식품공전(MFDS, 2021d)에서 언급한 방법으로 실험하였다. 전처리하는 시료 약 15–20 g을 취하여 멸균팩에 넣고, 시료의 9배(v/w)가 되는 멸균생리식염수(0.85%)를 가하여 stomacher (BagMixer 400; Interscience, Saint Nom La Bretèche, France)로 1분 30초간 균질화한 후, 시료액을 단계적으로 희석하여 제조하였다. 일반세균수 측정은 전처리한 시료를 표준한천배지(plate count agar)에 접종하고, 배양(35±1°C, 48±2시간)한 후 집락수를 계측한 다음 colony forming unit (CFU)/g으로 나타내었다.

통계처리

데이터의 표준편차 및 유의차 검정(5% 유의수준)은 SPSS 통계패키지(SPSS for window, release 18)에 의한 ANOVA test를 이용하여 분산분석한 후 Duncan의 다중검정을 실시하고, 선도지표 설정을 위한 선도판정 실험의 단순상관계수(Pearson's correlation coefficient) 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

상온 유통 시 포장박스의 온도 유지능

선도지표 측정 전 보냉팩 개수별 스티로폼 박스 내 온도 측정은 무선형 temperature logger (EBI 11; Ebro Co., Ingolstadt,

Table 1. Temperature changes of samples stored in a styrofoam box at 25°C with different number of cold packs

h	Temperature	
	1 cold pack	2 cold packs
0	8.25	6.89
1	8.70	6.99
2	9.27	7.14
3	9.93	7.36
4	10.62	7.69
5	11.36	8.04
6	12.41	8.48
7	13.46	9.04
8	14.36	9.77
9	15.20	10.26
10	16.06	10.98
11	16.96	12.14

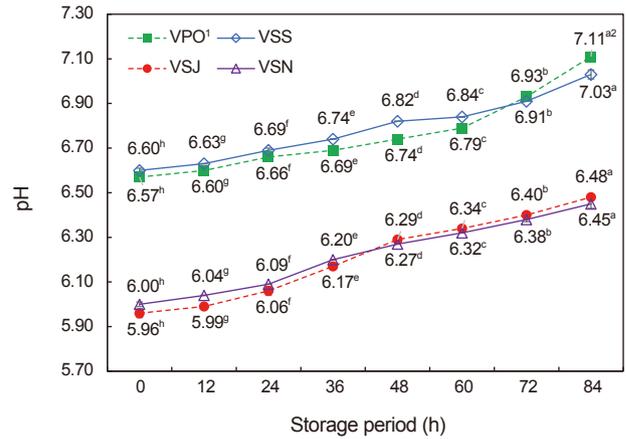


Fig. 1. Change in pH of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*. ²Difference letters on the data in the row indicate a significant difference at P>0.05.

Germany)를 사용하였다. 스티로폼 박스 내부에 온도 측정기, 보냉팩 그리고 실험샘플을 넣은 다음 스티로폼 박스를 밀봉하고 약 25°C 창고에 보관하면서 1시간 간격으로 11시간까지 측정한 결과는 Table 1과 같다.

스티로폼 박스 내 온도는 시간이 경과함에 따라 보냉팩 개수에 관계없이 증가하는 경향을 나타내었으며, 식품공전(MFDS, 2021b)에서 언급된 ‘냉장’ 온도 기준인 0–10°C를 유지하는 조건은 보냉팩 1개의 경우 3시간, 보냉팩 2개의 경우 8시간까지로 조사되었다.

저장시간별 화학적 선도 평가

수산물의 화학적 선도판정법은 선도저하로 분해 생성된 성분의 양과 단백질의 변성 정도, 효소 활성 및 pH 등을 지표로 하는 방법으로써, 판정에 소요되는 시간이 짧고, 재현성이 우수하다는 장점이 있다. 반면에 어종에 따른 판정기준이 다양하고, 조각이 복잡하여 숙련자가 필요할 뿐만 아니라 고가의 장비가 필요하다는 단점이 있다(Kim and Kang, 2021).

pH 변화

생선은 사후 신선도에 따라 보통 pH 5.5–6.5 범위의 약산성이며(Park et al., 1981), 어류의 pH는 해당작용이 혐기적으로 진행되어 젖산이 생성되어 점차 저하된 후 자가 소화 및 혐기성 물질의 생성으로 다시 상승하여 부패에 도달한다(Park et al., 2016). 일반적으로 백색육 어류의 부패 기준점은 pH 6.7–6.8 범위, 적색육 어류의 경우에는 pH 6.2–6.4 범위에 이른다고 알려져 있다(Park et al., 1997). 진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩

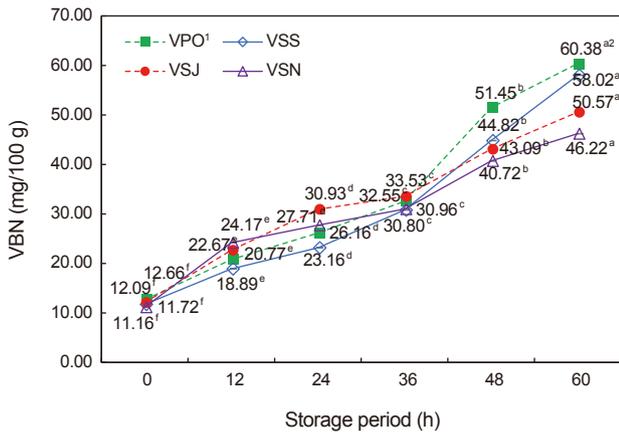


Fig. 2. Change in VBN of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*. ²Difference letters on the data in the row in the row indicate a significant difference at P>0.05.

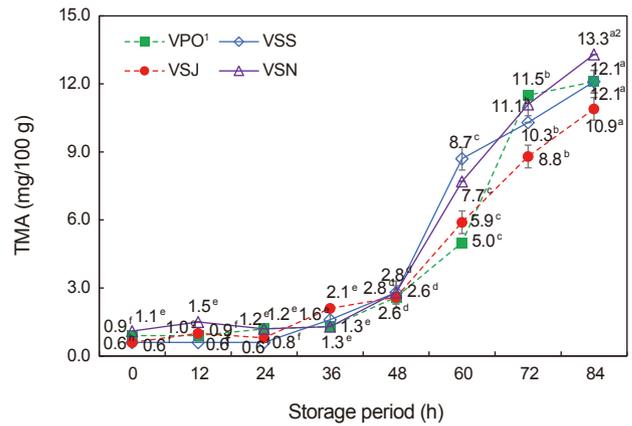


Fig. 3. Change in TMA of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*. ²Difference letters on the data in the row in the row indicate a significant difference at P>0.05.

및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 pH 변화를 측정된 결과는 각각 Fig. 1에 나타내었다.

광어의 pH는 저장 84시간까지 6.57–7.11 범위였으며, 36시간 이후부터 일반적으로 알려진 부패 기준점인 6.7을 초과하였다. 우럭의 pH는 저장 84시간까지 6.60–7.03 범위였으며, 24시간부터 부패 기준점에 도달하였다. 고등어의 pH는 84시간까지 5.96–6.48 범위였으며, 36시간부터 부패 기준점 근처에 도달하였다. 삼치의 pH는 저장 84시간까지 6.00–6.45 범위였으며, 36시간부터 부패 기준에 이르렀다.

전체적으로 저장시간 경과에 따라 완만한 pH 증가를 나타내었고, 어종별로 저장 84시간까지의 결과값은 유의적으로 차이가 있는 것으로 조사되었다(P<0.05). 한편, 본 pH의 결과는 이전의 연구인 냉동 저장 고등어 선도 변화에 대한 연구(Joo et al., 2016), 냉장 저장 중 고등어의 품질 특성에 대한 연구(Park et al., 2016) 및 냉장 저장 중 갈치의 품질 변화에 관한 연구(Yu et al., 2019)와는 어종 및 저장조건의 차이가 있었으나 전반적으로 pH의 변화 양상은 유사한 경향을 나타내었다.

휘발성 염기질소(VBN) 변화

휘발성 염기물질은 암모니아를 주성분으로 TMA, 디메틸아민 등으로 구성된 4급 암모늄염이며, 어획 직후의 어육에는 그 양이 극히 적으나 선도 저하와 더불어 증가한다. 수산물의 휘발성 염기질소 함량에 대한 선도판정은 신선 5–10 mg/100 g, 보통 선도 15–25 mg/100 g, 초기 부패 30–40 mg/100 g, 부패 50 mg/100 g 이상으로 알려져 있다(Song et al., 2005). 일반적으로 수산가공 원료로서 선도의 한계점을 20 mg/100 g 이하로 사

용하고 있기 때문에(Yu et al., 2019) 그 이상의 원료는 어떤 형태로도 사용하지 않는 것이 바람직하다고 판단된다. 진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 VBN (volatile basic nitrogen) 함량 변화를 측정된 결과는 Fig. 2와 같다.

광어의 VBN 함량은 저장 60시간까지 12.66–60.38 mg/100 g 범위였으며, 12시간부터 가공원료 기준점인 20 mg/100 g에 도달하였다. 또한, 우럭은 저장 60시간 동안 11.72–58.02 mg/100 g 범위였으며, 저장 12시간의 VBN 함량이 18.89 mg/100 g으로 선도 한계점 근처에 이르렀다. 고등어 및 삼치의 VBN 함량은 저장 60시간 동안 각각 12.09–50.57 mg/100 g 및 11.16–46.22 mg/100 g 범위였으며, 2종의 냉동 필렛 모두 저장 12시간에는 선도 한계 기준점 또는 근처에 도달하였다.

VBN 함량을 기준으로 볼 때, 백색육 어류보다 적색육 어류가 더 빨리 부패한다는 것을 알 수 있으며, 전체적으로 저장시간 경과에 따라 VBN 함량은 가파른 증가를 보였고, 어종별로 저장 60시간까지의 결과값에는 유의적인 차이가 나타났다(P<0.05).

Shim et al. (2010)은 명태의 보관시간에 따라 VBN 함량이 증가하였다고 보고하였으며, Joo et al. (2016)도 냉동 저장 중 고등어의 VBN 함량이 점진적으로 증가하는 경향을 보였다고 발표한 바 있다.

트리메틸아민(TMA) 변화

TMA는 신선한 수산물에는 거의 존재하지 않으며, 근육에 함유되어 있는 trimethylamine N-oxide가 사후 세균의 환원작용으로 환원되면서 생성되는 물질로서, 수산물의 TMA 함량에 의

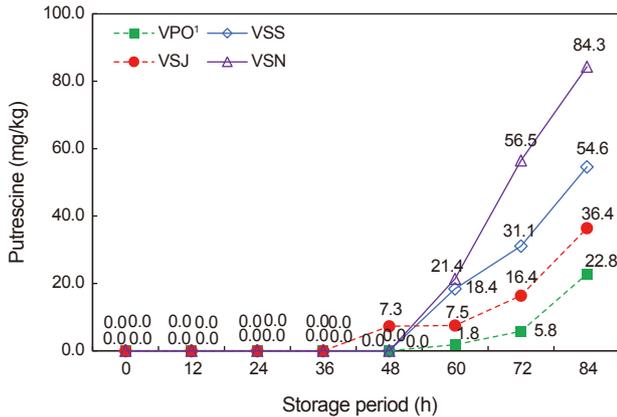


Fig. 4. Change in putrescine of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*.

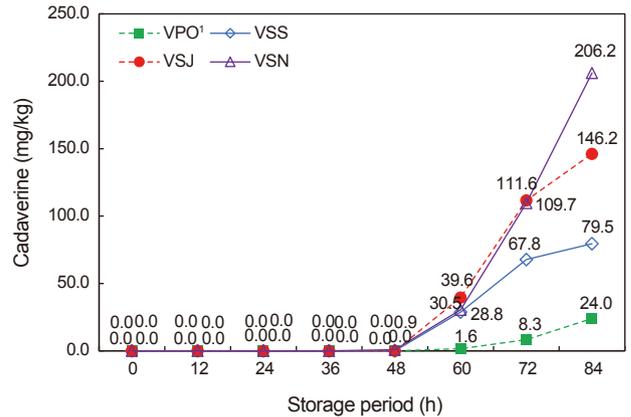


Fig. 5. Change in cadaverine of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*.

한 선도판정은 해수어에 한정되며, 해수어의 초기 부패는 일반적으로 3–4 mg/100 g으로 알려져 있다(Song et al., 2005).

진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 TMA 함량 변화를 측정 한 결과는 Fig. 3과 같다. 광어의 TMA 함량은 저장 84시간까지 0.9–12.1 mg/100 g 범위였으며, 우럭은 저장 84시간까지 0.6–12.1 mg/100 g 범위였다. 고등어 및 삼치의 TMA 함량은 저장 84시간동안 각각 0.6–10.9 mg/100 g 및 1.1–13.3 mg/100 g 범위였으며, 4종의 냉동 어류 필렛의 TMA는 48시간부터 부패 기준인 3 mg/100 g 근처에 도달하였다.

진공포장한 냉동 어류 필렛의 TMA는 저장 36시간까지 큰 변화가 없었으며, 명태의 보관시간에 따른 품질 변화에 관한 연구(Shim et al., 2010) 및 냉장 저장 중 고등어의 품질 특성에 대한 연구(Park et al., 2016)와 저장조건과 저장초기 값의 차이는 있었으나 점차 TMA 함량이 증가하는 비슷한 경향을 나타내었다. 다만, 본 연구의 실험 조건에서는 결과값에 유의적인 차이가 없어(P>0.05) 선도지표로서 사용하기 어려울 것으로 사료된다.

바이오제닉 아민(Biogenic amines) 변화

바이오제닉 아민은 아미노산의 탈탄산작용, 알데하이드와 케톤의 아미노화와 아미노기 전이반응에 의해 주로 생성되는 질소화합물이다(Karovicova and Kohajdova, 2005). 또한, 바이오제닉 아민은 저분자량이며, 미생물 및 동식물의 대사과정에서 합성되므로 이들 세포에서 흔히 발견되는 구성성분으로 알려져 있다(KFDA, 2007). 하지만 생물이나 음식에 함유된 바이오제닉 아민 수치가 정상치보다 높을 경우, 이는 심각한 건강 문제를 일으키는 독성 대사물질이 된다(Chon et al., 2014). 본 실험에서는 바이오제닉 아민 중 푸트레신(putrescine), 카다베린

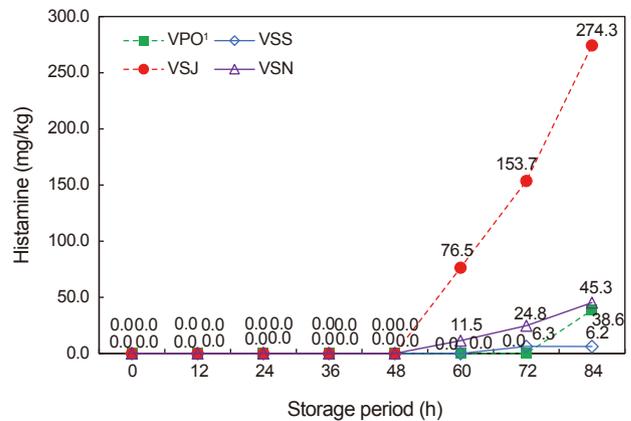


Fig. 6. Change in histamine of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*.

(cadaverine) 및 히스타민(histamine) 함량을 측정하였다.

푸트레신과 카다베린은 단백질의 부패 과정에서 오니틴의 탈카르복실화 반응으로 생성되는 악취를 갖는 아민이며, 히스타민은 바이오제닉 아민 중 독성이 강한 아민으로 경련, 설사 및 구토를 유발하기도 한다(Shim et al., 2017).

진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 푸트레신, 카다베린 및 히스타민 함량 변화를 측정 한 결과는 각각 Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

냉동 어류 필렛 4종 모두 저장 48시간까지 푸트레신이 검출되지 않았고, 저장 60시간부터는 4종의 냉동 어류 필렛 모두 푸트

레신 함량은 큰 폭으로 증가하는 경향이였다.

카다베린 함량은 푸트레신과 마찬가지로 단기저장(36시간)까지는 냉동 어류 필렛 4종 모두 검출되지 않았으며, 삼치만 저장 48시간부터 미량 검출되었다. 저장 60시간부터 84시간까지 냉동 어류 필렛의 카다베린 함량은 1.6–206.2 mg/kg 범위였으며, 어종에 관계없이 저장 60시간부터는 큰 폭으로 증가하였다. 히스타민 함량의 경우, 저장 60시간부터 적색어류인 고등어 및 삼치에서 높은 함량을 나타내었으며, 특히 고등어의 히스타민 함량이 가장 높았다. 일반적으로 고등어 등의 적색육 어종, 게 및 새우 등의 갑각류 그리고 오징어는 히스타민 함량이 높은 것으로 보고되고 있다(Park et al., 1980; Nam et al., 1996).

한편, 냉장 저장 중 고등어의 선도 변화에 관한 연구(Cho et al., 2008)에서도 실험조건은 일부 차이가 있었으나, 3종의 바이오제닉 아민이 저장 초기에는 검출되지 않았으며 어느 시점에 급격히 증가하는 경향을 보여 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

4종의 냉동 어류 필렛 모두 단기저장(저장48시간)까지 3종의 아민이 대부분 검출되지 않는 점을 고려할 때, 보냉팩 및 스티로폼 박스 저장의 배송 형태에서는 선도지표로 사용하기는 어려울 것으로 판단된다.

저장시간별 물리적 선도 평가

수산물의 물리적 선도판정법은 신속하고 조작이 간편하고, 결과의 수치화가 용이하다는 장점이 있으나, 어종 및 어체에 따른 개체 차이에 의한 재현성이 떨어지고, 측정 센서가 분석조건에 따라 안정성이 결여된다는 단점이 있다(Kim and Kang, 2021).

어류의 신선도는 수분 함량과 밀도 등의 차이에 따라 조직감에서 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 즉 어류는 부패할수록 단백질이 변성되어 탄성을 잃고 수분이 배출되면(Cao et al., 2022) 경도(hardness)나 씹힘성(chewiness) 등이 저하되는 특성을 갖고 있다.

경도 변화

진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 경도 변화는 Fig. 7과 같다. 광어의 경도는 저장 84시간까지 76.6–587.2 g/cm² 범위였으며, 우럭의 경우 240.3–711.0 g/cm² 범위였다. 고등어의 경도는 저장 84시간까지 186.7–460.3 g/cm² 범위였으며, 삼치의 경도는 저장기간 동안 125.7–383.7 g/cm² 범위로 나타났다.

경도는 4개 어종 모두 보냉팩 및 스티로폼 박스 유통 중 감소하는 경향을 나타내었으며, 적색육 어류에 비해 백색육 어류가 높은 경도 값을 나타내었다. 4개 어종 모두 경도값은 저장 84시간까지 구간별 결과값이 유의적으로 차이가 있었다(P<0.05). 이는 저장기간이 경과함에 따라 고등어의 경도는 빠르게 감소한다는 선행 연구(Joo et al., 2016)와 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

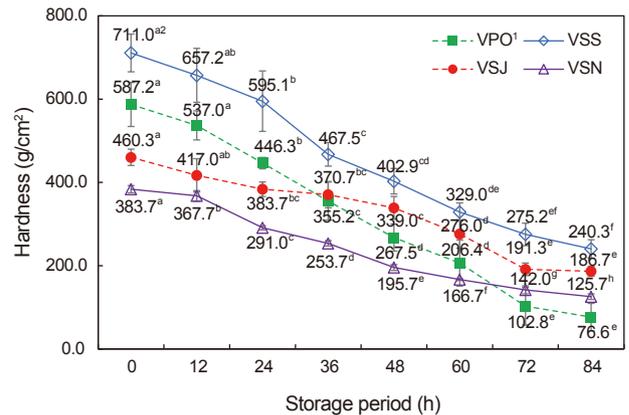


Fig. 7. Change in hardness of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*. ²Difference letters on the data in the row in the row indicate a significant difference at P>0.05.

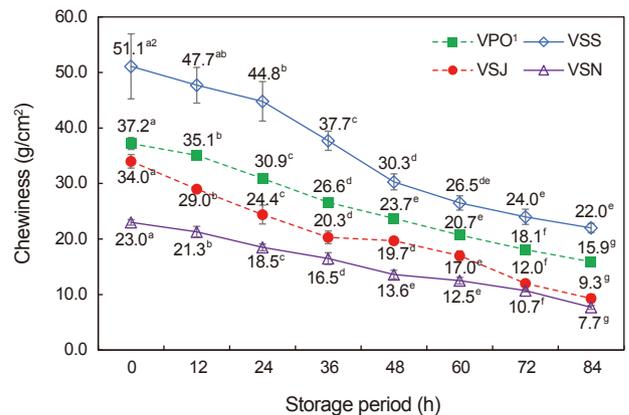


Fig. 8. Change in chewiness of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus niphonius*. ²Difference letters on the data in the row in the row indicate a significant difference at P>0.05.

씹힘성 변화

진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 씹힘성 변화는 Fig. 8과 같다. 광어 및 우럭의 씹힘성은 저장 84시간까지 각각 15.9–37.2 g/cm² 및 22.0–51.1 g/cm² 범위였으며, 고등어 및 삼치의 씹힘성의 경우 각각 9.3–34.0 g/cm² 및 7.7–23.0 g/cm² 범위로 나타났다.

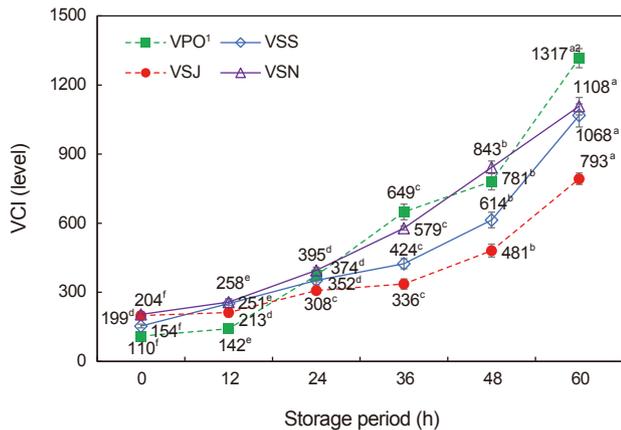


Fig. 9. Change in VCI (volatile component intensity) of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus nipponius*. ²Difference letters on the data in the row indicate a significant difference at $P>0.05$.

씽힘성은 경도와 비슷한 패턴을 나타내어 적색육 어류에 비해 백색육 어류의 씽힘성이 높게 나타났다. 전체적으로 저장시간 경과에 따라 완만한 감소를 보였으며, 4개 어종 모두 저장 84시간까지의 결과값은 유의적인 차이를 보였다($P<0.05$).

냄새강도 변화

어류는 부패되는 과정에서 지질이 산화되어 갈변됨과 동시에 육 단백질이 미생물의 증식과 효소의 작용으로 휘발성 저급 아민과 암모니아 등이 생성되어 비린내가 발생하는 것으로 보고되고 있다(Kang et al., 2021). 진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 냄새강도 변화는 Fig. 9와 같다. 광어 및 우럭의 냄새강도는 저장 60시간까지 각각 110–1,317 level 및 152–1,068 level 범위였으며, 고등어 및 삼치의 냄새강도는 저장기간 동안 각각 199–793 level 및 204–1,108 level 범위로 나타났다.

냄새강도는 백색육 및 적색육간 뚜렷한 차이는 보이지 않았으며, 모든 어종의 냄새강도는 저장시간의 경과에 따라 증가하는 경향을 보였고, 저장 60시간까지 구간별 결과값에는 유의적인 차이가 나타났다($P<0.05$).

저장시간별 미생물학적 선도 평가

수산물의 미생물학적 선도판정법은 수치화에 의한 객관적인 자료를 확보할 수 있다는 장점이 있으나, 측정에 장시간이 소요되고, 조작이 복잡하여 숙련이 필요하다는 단점이 있다(Kim and Kang, 2021). 본 연구에서는 일반세균수를 통해 미생물학적 선도 변화를 측정하였으며, 일반세균수에 대한 수산물의 선도판정 지표는 5 log CFU/g 이하는 신선, 5–6 log CFU/g은 초

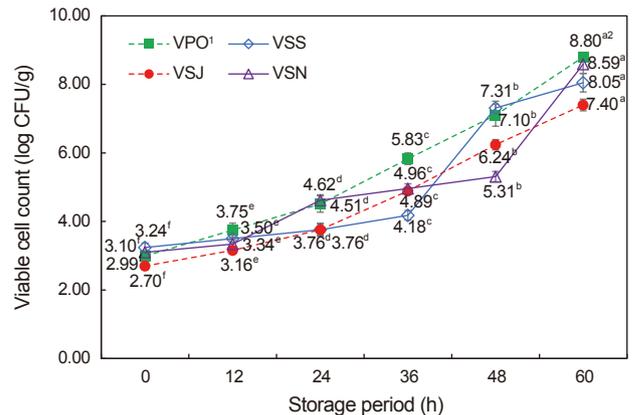


Fig. 10. Change in viable cell count of vacuum-packed frozen fish fillets stored in styrofoam boxes with cold packs at 25°C. ¹VPO, Vacuum-packed *Paralichthys olivaceus*; VSS, Vacuum-packed *Sebastes schlegelii*; VSJ, Vacuum-packed *Scomber japonicus*; VSN, Vacuum-packed *Scomberomorus nipponius*. ²Difference letters on the data in the row indicate a significant difference at $P>0.05$.

기 부패, 6 log CFU/g 이상이면 부패로 알려져 있다(Park et al., 1997).

진공포장 냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 일반세균수 변화는 Fig. 10과 같다. 광어의 일반세균수는 저장 60시간까지 2.99–8.80 log CFU/g 범위였으며, 저장 36시간부터 초기 부패 기준점인 5 log CFU/g을 초과하였다. 우럭의 경우 저장 60시간까지 3.24–8.05 log CFU/g 범위로 나타났다, 36시간까지는 부패 기준에 도달하지 않았다. 고등어의 일반세균수는 저장 60시간까지 2.70–7.40 log CFU/g 범위였으며, 삼치의 경우 3.10–8.59 log CFU/g 범위로 나타났다. 고등어 및 삼치의 일반세균수는 저장 36시간까지 일반세균수의 부패 기준점인 5 log CFU/g을 초과하지 않아 신선한 것으로 판단되었다.

일반세균수는 4개 어종 모두 전체적으로 저장시간 경과에 따라 점진적인 증가를 나타내었으며, 백색육 및 적색육 어류 모두 저장구간별 일반세균수가 유의적인 차이를 보였다($P<0.05$).

선도 평가 결과의 상관관계

4종의 냉동 어류 필렛에 대한 포장방법별 선도 측정 결과에 대한 상관관계는 모두 비슷한 경향을 나타내어(데이터 미제시), 진공포장 냉동 고등어 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 선도 측정 결과에 한하여 상관관계를 Table 2에 나타내었다.

pH는 휘발성 염기질소, TMA, 푸트레신, 카다베린, 냄새강도 및 일반세균수와는 유의차 1% 수준에서 상관관계수 $r=0.87$ 이상으로 높은 양의 상관관계를 나타내었다. 특히 pH는 휘발성 염기질소, 냄새강도 및 일반세균수와 각각 상관관계수 $r=0.98$,

Table 2. Correlation coefficients (r) for vacuum-packed frozen mackerel fillets stored in a styrofoam box with 2 cold packs at 25°C

Experiments	pH	VBN	TMA	Putrescine	Cadaverine	Histamine	Hardness	Chewiness	VCI
VBN	0.98** ¹								
TMA	0.87**	0.88**							
Putrescine	0.90**	0.90**	0.98**						
Cadaverine	0.90**	0.84**	0.78* ²	0.80*					
Histamine	0.78*	0.80*	0.98**	0.96**	0.69				
Hardness	-0.98**	-0.98**	-0.82*	-0.86**	-0.90**	-0.73*			
Chewiness	-0.95**	-0.98**	-0.80*	-0.80*	-0.79*	-0.69	0.96**		
VCI	0.98**	0.96**	0.93**	0.95**	0.92**	0.87**	-0.96**	-0.89**	
Viable cell count	0.96**	0.95**	0.79*	0.86**	0.82*	0.72*	-0.96**	-0.92**	0.93**

¹Significant at P<0.01. ²Significant at P<0.05. VBN, Volatile basic nitrogen; TMA, Trimethyl amine; VCI, Volatile component intensity.

$r=0.98$ 및 $r=0.96$ 으로 높은 양의 상관관계를 보였으며, 경도 및 씹힘성과는 음의 높은 상관관계($r=-0.95$, -0.98)가 있는 것으로 나타났다. 휘발성 염기질소는 TMA, 푸트레신, 카다베린, 냄새강도 및 일반세균수와 상관계수 $r=0.84$ 이상으로 유의차 1% 수준에서 양의 높은 상관관계가 있었고, 경도 및 씹힘성과는 음의 높은 상관관계($r=-0.96$, -0.95)가 있는 것으로 조사되었다. TMA는 푸트레신, 히스타민 및 냄새강도에서 유의차 1% 수준에서 양의 높은 상관관계($r=0.93-0.98$)가 있었다. 푸트레신은 히스타민, 냄새강도 및 일반세균수와, 카다베린 및 히스타민의 경우에는 냄새강도와 유의차 1% 수준에서 양의 높은 상관관계($r=0.87$, 0.92)를 나타내었다. 경도는 씹힘성과 유의차 1% 수준에서 양의 높은 상관관계($r=0.96$)가 있었으며, 냄새강도 및 일반세균수와는 음의 높은 상관관계($r=-0.96$)가 있는 것으로 나타났다. 씹힘성은 유의차 1% 수준에서 냄새강도 및 일반세균수와 음의 높은 상관관계($r=-0.89$, -0.92)가 있었고, 일반세균수는 냄새강도와 유의차 1% 수준에서 양의 높은 상관관계($r=0.93$)를 나타내었다.

따라서, 수산물의 선도지표로 가장 많이 활용되고 있는 pH, 휘발성 염기질소 및 TMA, 푸트레신, 카다베린, 히스타민 등의 화학적 선도판정법은 보냉팩 및 스티로폼 박스 포장 냉동 필렛의 저장 유통에 따른 선도지표 설정 시 물리적 선도판정법인 냄새강도와 미생물학적 선도판정법인 일반세균수와는 양의 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 판정되었다. Son et al. (2014)은 굴(*Crassostrea gigas*)의 선도에 따른 인자들 간의 상관관계에 대한 연구에서 pH는 선도변화와 밀접한 관련이 있었다고 하였으나, 일반세균수의 경우에는 상관성이 부족하다고 판단하여 본 연구결과와 차이를 보였다.

선도지표 결과의 적합성

냉동 어류 필렛의 보냉팩 및 스티로폼 박스 상온유통(25°C) 중 적합한 선도판정 지표는 유의차 검증 결과, 상관계수 및 경제적 효율성(실험 소요 시간 및 비용, 데이터 미제시)을 고려하여 결정하였다. pH, 휘발성 염기질소, 냄새강도 및 일반세균수가 적

합한 선도판정 지표였으며, TMA, 바이오제닉 아민 3종, 경도 및 씹힘성의 경우 일부 적합하지 않은 요소들로 인해 최종적으로 선도판정 지표에서 부적합하였다.

사 사

이 논문은 2021년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(20210681, 수산물 신선유통 스마트 기술개발).

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. In: Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Chapter 35. AOAC, Washington, D.C., U.S.A., 9.
- Cao Y, Zhao L, Huang Q, Xiong S, Yin T and Liu Z. 2022. Water migration, ice crystal formation, and freeze-thaw stability of silver carp surimi as affected by inulin under different additive amounts and polymerization degrees. Food Hydrocoll 124, 107267. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107267>.
- Cayre ME, Vignolo G and Garro O. 2003. Modeling lactic acid bacteria growth in vacuum-packaged cooked meat emulsions stored at three temperatures. Food Microbiol 20, 561-566. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(02\)00154-5](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(02)00154-5).
- Chai JY, Kim MS, Han IK, Lee SY and Yeo IH. 1994. Relationships between the content and sensory evaluation of pungent principles in red pepper. Anal Sci Technol 7, 541-545.
- Cho YJ, Son MJ, Kim SM, Park HK, Yeo HK and Shim KB. 2008. Biogenic amine contents in fish products. J Fish Mar Sci Edu 20, 127-134.
- Chon JW, Kim DH, Kim HS, Song KY, Lim JS, Choi D, Kim YJ, Lee SK and Seo KH. 2014. The role of factors controlling the accumulation of biogenic amines in various cheeses as milk-based products: A review. Korean J Dairy Sci Technol 32, 77-92.

- Gavilan D, Balderas-Cejudo A, Fernández-Lores S and Martínez-Navarro G. 2021. Innovation in online food delivery learnings from COVID-19. *Int J Gastron Food Sci* 24, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100330>.
- Huss HH, Reilly A, Karim Ben Embarek P. 2000. Prevention and control of hazards in seafood. *Food Control* 11, 149-156. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(99\)00087-0](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(99)00087-0).
- Joo SY, Park JA, Hwang HJ, Kim SJ, Choi JI, Ha JY and Cho MS. 2016. Effects of freezing-storage temperature on the shelf life of mackerel fish. *Korean J Food Sci Technol* 48, 536-541. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2016.48.6.536>.
- Kang SI, Kim KH, Lee JK, Kim YJ, Park SJ, Kim MW, Choi BD, Kim DS and Kim JS. 2014. Comparison of the food quality of freshwater rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* cultured in different regions. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 103-113. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0103>.
- Kang SI, Kim YJ, Lee JU, Park JH, Choi KS, Hwang JY, Heu MS and Lee JS. 2021. Development and characteristics of cheese-topped, semi-dried and seasoned broughton's ribbed ark *Scapharca broughtonii* with improved fish odor and texture. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 869-879. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0869>.
- Kapute F, Likonwe J and Kang'ombe J. 2012. Quality assessment of fresh lake Malawi tilapia (Chambo) collected from selected local and supermarkets in Malawi. *J Food Saf* 14, 112-120.
- Karovicova J and Kohajdova Z. 2005. Biogenic amines in food. *Chem Pap* 59, 70-79.
- KFDA (Korea Food & Drug Administration). 2007. What is Biogenic Amines in Food. Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201800030432> on May 10, 2021.
- Kim DK, Park IS and Kim N. 1998. Determination of chemical freshness indices for chilled and frozen fish. *Korean J Food Sci Technol* 30, 993-999.
- Kim JS and Kang SI. 2021. Fisheries Processing. Soohaksa, Paju, Korea, 120-129.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2021. Average Temperature for the Last 30 Years in Korea. Retrieved from <https://www.weather.go.kr/w/obs-climate/climate/korea-climate/data-guide.do> on Aug 8, 2021.
- KMI (Korea Maritime Institute). 2021. Results of the Survey on the Public Perception of Marine Fisheries. Retrieved from <https://www.kmi.re.kr/web/board/view.do?rbsIdx=297&idx=5> on Oct 29, 2021.
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2021. Statistics Report of the Survey on Food Consumption Behavior. Retrieved from <https://www.krei.re.kr/foodSurvey/selectBbsNttView.do?key=806&bbsNo=449&nttNo=158542> on May 16, 2022.
- Kulawik P, Özogul F, Glew R and Özogul Y. 2013. Significance of antioxidants for seafood safety and human health. *J Agric Food Chem* 61, 475-491. <https://doi.org/10.1021/jf304266s>.
- Lee GH and Cho CH. 2020. A study on the utilization of low temperature courier service and efficient operation measures. *Korea Logistics Rev* 30, 49-64. <https://dx.doi.org/10.17825/klr.2020.30.4.49>.
- Lee NG. 2020. Storage effects of seawater and tapwater ice for freshness of mackerel (*Scomber japonicus*). *J Korean App Sci Tech* 37, 860-869. <http://doi.org/10.12925/jkocs.2020.37.4.860>.
- Ma Q, Lu X, Wang W, Hubbe MA, Liu Y, Mu J, Wang J, Sun J and Rojas OJ. 2021. Recent developments in colorimetric and optical indicators stimulated by volatile base nitrogen to monitor seafood freshness. *Food Pack Shelf Life* 28, 100634. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100634>.
- Margeirsson B, Gospavic R, Palsson H, Arason S and Popov V. 2011. Experimental and numerical modelling comparison of thermal performance of expanded polystyrene and corrugated plastic packaging for fresh fish. *Int J Refrig* 34, 573-585. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2010.09.017>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021a. Standards and specifications for each food. In: Korean Food Code. Chapter 5. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=11183 on Aug 12, 2021.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021b. General provisions. In: Korean Food Code. Chapter 1. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=3 on Jun 8, 2021.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021c. General analytical method. In: Korean Food Code. Chapter 8. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_02.jsp?idx=263 on Jun 17, 2021.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021d. General analytical method. In: Korean Food Code. Chapter 8. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_02.jsp?idx=362 on Jun 20, 2021.
- Nam HW, Lee KW and Myung CO, Rhee JS, Lee YC and Hong CS. 1996. Analysis on the contents of histamine in Korean foods. *Korean J Soc Food Sci* 12, 487-492.
- Özogul Y, Özyurt G, Özogul F, Kuley E and Polat A. 2005. Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. *Food Chem* 92, 745-751. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.035>.
- Odeyemi OA, Burke CM, Bolch CCJ and Stanley R. 2018. Seafood spoilage microbiota and associated volatile organic compounds at different storage temperatures and packaging conditions. *Int J Food Microbiol* 280, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.029>.
- Park SH, Kim MJ, Kim GU, Choi HD, Park SY, Kim MJ, Kim KBWR, Kim YM, Nam TJ, Hong CW, Choi JH, Jang MK, Lee JW and Ahn DH. 2016. Assessment of quality changes in mackerel *Scomber japonicus* during refrigerated storage: development of a freshness indicator. *Korean J Fish Aquat*

- Sci 49, 731-736. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0731>.
- Park YH, Jang DS and Kim ST. 1997. Processing and Using of Fishery Science. Hyungeol Press, Seoul, Korea, 73.
- Park YH, Kim DS, Kim SS and Kim SB. 1980. Changes in histamine content in the muscle of dark-fleshed fishes during storage and processing. Korean J Fish Aquat Sci 13, 15-22.
- Park YH, Kim SB, Jeong HK, Koh KB and Kim DS. 1981. Changes of histamine contents in the muscle of dark-fleshed fishes during storage and processing. Korean J Fish Aquat Sci 14, 122-129.
- Prabhakar PK, Vatsa S, Srivastav PP and Pathak SS. 2020. A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent innovations. Food Res Int 133, 109157. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109157>.
- Ryu JR, Yook SW, Kal SH and Shin YJ. 2019. Development of high-insulation packaging using recycled PET and comparison of insulation performance with existing styrofoam and paper boxes. Korean J Packag Sci Tech 25, 111-116. <https://doi.org/10.20909/kopast.2019.25.3.111>.
- Seo YJ, Gil BJ, Kyoung JS, Yoo BS, Chang YH, Yu SY and Lee YS. 2014. Effect of environmetally-friendly red clayprocessed materials on quality characteristics of eel. J Korean Soc Food Sci Nutr 43, 287-292. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2014.43.2.287>.
- Shim JH, Paik HD and Lee SK. 2017. Inhibitory effect of garlic extract on histamine accumulation in mackerel meat. J Korean Soc Food Sci Nutr 46, 957-964. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2017.46.8.957>.
- Shim SD, Kim DU, An SR, Lee DS, Kim SB, Hong KW, Lee YB and Lee SJ. 2010. Using modeling to predict alaska pol-lak quality during storage. Korean J Fish Aquat Sci 43, 195-204. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.3.195>.
- 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>.
- Song HN, Lee DG, Han SW, Yoon HK and Hwang IK. 2005. Quality changes of salted and semi-dried mackerel fillets by UV treatment during refrigerated storage. Korean J Food Cook Sci 21, 662-668.
- Trebar M, Lotric M and Fonda I. 2015. Use of RFID temperature monitoring to test and improve fish packing methods in styrofoam boxes. J Food Eng 159, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.007>.
- Yu JW, Kim HJ, Seol DE, Ko JY, Kim SH, Yang JY and Lee YB. 2019. Evaluation of largehead hairtail *Trichiurus lepturus* freshness using sensory and chemical analyses. Korean J Fish Aquat Sci 52, 735-739. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0735>.