

냉장배송환경이 연어 품질에 미치는 영향

이유진 · 이혜윤 · 현지용 · 천지연*

제주대학교 식품생명공학과

Effect of Refrigerated Delivery Environment on Quality of Salmon

Yu-Jin Lee, Hye-Yoon Yi, Ji-Yong Hyun, and Ji-Yeon Chun*

Department of Food Bioengineering, Jeju National University

Abstract

This study was conducted to determine seafood product quality change in the fresh food cold chain logistics. Salmon was stored in three different simulated refrigerated distribution environments according to door opening time (0, 20, and 60 s) every 10 min before the samples' qualities were evaluated. The temperature inside the refrigerator generally rose from the bottom to the top, and it was possible to confirm the rapid change in temperature in the order of A, B, and C as the door opening time increased. It was observed that the freshness of salmon decreased as the door opening time increased through the evaluation of various food qualities of salmon, such as its appearance, color, pH, VBN, moisture content, hardness, general bacteria, and *E. coli* bacteria. It was confirmed that fresh food quality is strongly associated with delivery temperature, while cold-chain delivery vehicles must reduce heat exposure time during delivery.

Keywords: simulated refrigerated distribution, salmon, quality characteristics, cold chain

서 론

최근 연어는 높은 경제적 가치로 인해서 연어 교역 및 사육 수요가 증가하는 추세이다(FAO, 2022). 연어(*Oncorhynchus keta*)는 전 세계적으로 가장 선호되는 수산물 중 하나이며(Føre et al., 2022), 특히 생선회, 생선 덮밥 뿐만 아니라, 훈제 연어, 연어장 등과 같은 다양한 가공 식품으로 개발되고 있는 동시에 세계 10대 슈퍼푸드(Superfoods)로 젊은 층 소비자들을 중심으로 그 수요가 크게 증가하고 있다(Horowitz, 2002). 또한, 연어는 단일종이 아닌 다양한 종으로 구성되어 있고, 국내에서는 주로 홍연어(*Oncorhynchus nerka*), 은연어(*Oncorhynchus kisutch*), 대서양연어(*Salmo salar*) 3종이 수입되어 유통되고 있다.

수산물은 육조직이 연약하고, 사후변화에 관여하는 조직 중의 효소 활성이 축산물에 비해 강하여 육질의 단백질 변성이 빠르게 일어나 부패하기 쉬우며, 미생물 변화 및 지질 산화 등이 부패의 주요 요인으로 알려져 있다(Kulawik et al., 2013). 또한 연어는 미생물 활동, 산화 및 가수분해

로 인해 쉽게 품질이 저하된다(Fogarty et al., 2019). 신선한 연어는 일반적으로 0-4°C에서 보관되며 유통기한은 약 1-2주이다. 부패하기 쉽고 유통기한이 짧은 신선한 연어의 유통 및 판매는 제한적이다(Morachis-Valdez et al., 2017).

수산물이 농축산물 보다 안전관리가 어렵기 때문에 연어와 같은 수산물은 농축산물보다 안전관리가 상대적으로 취약하여 생산, 가공, 유통 및 판매과정에서 체계적인 선도관리 체계를 갖추지 못하고 있는 상황이다(Gavilan et al., 2021). 수산물은 해당작용, 사후경직, 해경, 자가 소화 및 부패와 사후변화 단계를 거치면서, 사후 선도가 빠르게 저하되는 특성을 가지기 때문에 특히 유통과정 중에 품질 저하와 부패를 감소시키기 위해 물류체계가 더욱 중요한 역할이다(Lee, 2020). 또한 COVID-19 이후 비대면 온라인 소비가 광범위하게 확대되어 택배 등 배달문화가 크게 성장하였으나(Gavilan et al., 2021), 부족한 저온유통 설비 구축과 유통 중 위생 상태 및 신선도 불량 등의 사례가 일부 발생하고 있어 식품·유통업계 및 소비자 간 분쟁이 발생하기도 한다. 식품공전에 따르면 냉동, 냉장 제품 운반기준에서는 '냉동 또는 냉장 제품은 적절한 온도를 유지할 수 있는 냉동 또는 냉장 차량이거나 이와 동등한 효력이 있는 방법'으로 운반하도록 규정하고 있다(MFDS, 2021).

신선식품의 특성상 재료의 상태와 신선도를 유지하는 것

*Corresponding author: Ji-Yeon Chun, Department of Food Bioengineering, Jeju National University, 102 Jejudaehak-ro, Jeju-si, Jeju-do 63243, Korea

Tel: +82-64-754-3615; Fax: +82-64-755-3601

E-mail: chunjiyeon@jejunu.ac.kr

Received October 19, 2023; revised October 28, 2023; accepted November 2, 2023

이 재구매로 이어지는 중요한 요소이기에 기업은 식료품의 상태를 최상으로 보존하고 안전하게 최종 목적지인 소비자의 집 앞까지 배송될 수 있도록 콜드체인 시스템(Cold chain system), 라스트 마일 딜리버리(Last mile delivery) 등을 도입하여서 배송 및 유통 개선을 위해 노력하고 있다 (Park & Kim, 2022). 더욱이 COVID-19 이후 신선식품 배송 서비스 이용률이 급증함에 따라 기업들은 풀 콜드체인 시스템 기반을 빠르게 구축하고 있는 추세이다(Yoon, 2022). 수산물을 사용하여 저장 기간에 따른 품질 특성 변화에 관한 연구는 Park et al. (2018)의 자숙 굴 및 구운 굴, Park et al. (2022)의 광어, Sigurgisladdottir et al. (2000)의 연어 부위별 조직감 변화에 대한 선행 연구 결과가 나와 있다. 또한 냉장 배송 유통체계에 대한 연구보다는 냉동 저장 시 수산물의 품질변화와 관련한 Joo et al. (2016)의 고등어의 저장성에 미치는 영향, Baek et al. (2022)의 새우 품질 분석에 대한 연구 결과가 있다.

따라서 본 연구에서는 냉장 배송 차량과 유사한 모의 배송환경을 조성하여 신선도 저하가 빠른 수산물 중 선호도와 소비가 가장 높은 연어를 이용하여 냉장 배송 차량 유통 중, 도어 개방에 따른 온도변화에 의한 식품의 이화학적 특성 및 미생물학적 특성의 변화를 관찰하여 식품 품질에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에서 이용된 생연어는 제주시 연북로에 위치한 (주)제스코마트에서 실험당일 내장 제거 및 손질을 마친 후, polystyrene paper에 포장되어 냉장 보관 중이던 연어를 구매하였다. 실험에 사용한 연어 포장방법은 Fig. 1에 나타내었고, 유통환경을 고려하여 연어는 합기포장기(EHQ-350N2, Enter pack, Seoul, Korea)를 이용하여 19 × 15 × 4 cm 용기

(PSW-19154, Enter pack, Seoul, Korea)에 일반적인 횡감 형태인 10 × 5 × 1 cm 크기로 정형하여 150 g씩 선도유지제와 함께 포장하여 실험에 사용하였다. 또한 일반적인 신선식품의 배달 상태를 고려하여 30 × 45 × 10 cm polystyrene 상자에 500 mL의 냉각수 키트를 같이 넣고 저장하였다.

모의 유통환경 설정 및 온도 계측

식품 저장 시, 냉장 배송 차량과 비슷한 환경을 조성하기 위해 사용한 상업용 냉장고(CWS-1244DR, Woosung inc., Chungnam, Korea)의 규격은 Fig. 1에 나타내었고 냉장고 설정 온도와 실제 내부 온도의 변화를 계측하기 위하여 냉장고 내부 온도측정을 진행하였다(Kang & Chun., 2023). 온도측정을 위한 Thermocouple (DRTB-K-2, Omega Engineering, Knoxville, USA)의 위치는 식품(T1), 포장박스 내부(T2), 포장박스의 외부(T3), 냉장고 내부를 상(T4), 중(T5), 하(T6)로 부착하고 냉장고 도어(T7)에 부착하였다. Data logger (OM-HL-EH-TC, Omega Engineering, Knoxville, USA)를 이용하여 내부의 평균온도를 측정하였다. 식품공전에 고시되어있는 냉장 유통 차량의 온도를 고려하여서 냉장고 설정 온도를 4°C로 하였다. 또한 실제 냉장 유통 차량의 경로 및 배송 제품 상·하차 동안에 도어 개·폐 시간에 의한 온도변화 차이와 이에 따른 제품의 품질변화를 알아보기 위하여 유사한 환경을 냉장고에 적용하여 저장하는 동안에 도어를 개방하지 않는 경우(A), 적정 유통환경과 비슷하게 도어를 10분 간격으로 20초씩 개방하는 경우(B), 적정 유통환경보다 가혹한 환경을 만들기 위해 도어를 10분 간격으로 1분씩 개방하는 경우(C)로 나누어 실험을 진행하였고, Table 1에 나타내었다. 제품의 품질변화는 다양한 조건에서 12시간 동안 저장하면서 4시간마다 관찰하였다.

외관 및 색도

연어의 외관은 샘플에 대해 측정 지점을 무작위로 선택

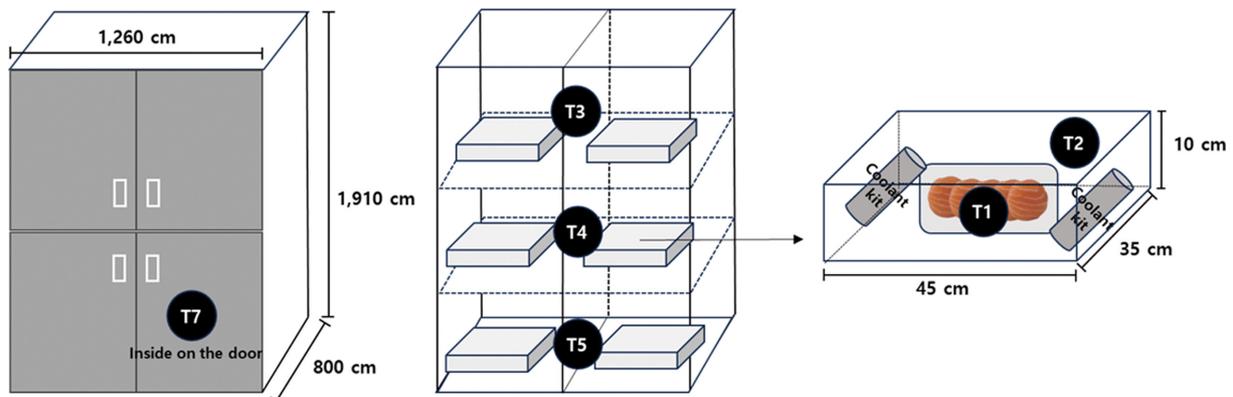


Fig. 1. Dimensions of the refrigerator, thermocouples location (T1-T7) and salmon packaging using polystyrene boxes. Food (T1), inside the packaging box (T2), outside the packaging box (T3), lower the inside of the refrigerator to the top (T4), center (T5), and bottom (T6), refrigerator door (T7).

Table 1. Simulated cold distribution chain conditions

Conditions	Common conditions			Variable conditions	
	Temperature	Total inspection time	Number of inspection	Door opening frequency	Door opening time
A ¹⁾				0	0
B	4-5°C	12 h	1 time every 4 h	every 10 m	20 s
C				every 10 m	1 m

¹⁾A: Conditions in an environment without variables, B: Conditions similar to general distribution environment, C: Worse conditions than the general distribution environment

하고 4 cm 지름의 원형으로 정형하여 일정한 장소에서 표준 화이트보드를 측정 배경으로 사용하여 비교하였다. 색도는 색차계(TCR200, PCE americas Inc., Jupiter, FL, USA)를 이용하여 초기 시료의 L^* , a^* , b^* 값을 3회 반복 측정하여 평균치로 나타내었다. 이때 표준 백색판의 L^* , a^* , b^* 값은 93.45, 4.22, -14.79였다.

pH 측정

시료 10 g에 증류수 100 mL를 가하여 균질기 (Ultra Turrax T25, IKA, Braun, Germany)로 6,000 rpm에 3분간 균질화한 후 원심분리기(LaboGene 1248 R, GYROZEN, Daejeon, Korea)를 사용하여 1,763 ×g, 10°C에서 10분간 원심분리 후, 상등액을 syringe filter (0.45 μm)를 사용하여 여과한 분석액을 사용하였다. pH는 pH-meter (Five-Easy Plus F20 pH/mV, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)로 3회 반복 측정하였다. Hunter scale에 의한 ΔE는 다음의 식에 의해 산출하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L')^2 + (a - a')^2 + (b - b')^2}$$

수분함량(moisture content, MC)

수분함량은 식품공전(MFDS, 2022)에 따라 상압가열건조법으로 측정하였다. 연어 시료를 작은 크기로 세절하고 3 g을 알루미늄 접시에 칭량한 후, 건조 오븐 (Hanbaek Co. Ltd., Buchun, Korea)에 연어를 100°C로 항량점에 도달할 때까지 건조시켜 다음의 식에 의해 수분함량을 계산하였다.

$$MC \text{ (Moisture Content, \%)} = \frac{b - c}{b - a} \times 10$$

a : 칭량 접시의 질량(g)

b : 칭량 접시와 검체의 질량(g)

c : 건조 후 항량이 되었을 때의 질량(g)

경도 측정

연어의 물러짐 정도를 측정하기 위하여 물성분석기 (CT3 10K, Brookfield Engineering laboratories, Inc.

Middleboro, MA, USA)로 경도를 측정하였다. 연어는 측정하기 전 과도한 수분을 제거하기 위해 여과지로 가볍게 수분을 제거하였다. 품질변화에 선행연구인 Sigurgisladottir et al. (2000)과 Farajzadeh et al. (2016)의 측정 조건을 참고하여 trigger load 0.10 N, deformation 80%, pre-test speed 2.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, post-test speed 2.0 mm/s로 설정하였고 probe는 TA7, Knife Edge (60 mm W)를 사용하였다. 시료의 경도(hardness)를 3회 측정하고 평균값으로 나타내었다.

일반세균 및 대장균

연어의 일반세균 및 대장균 수는 각 검체 10 g을 고르게 채취한 후 멸균된 생리식염수 90 mL를 가한 후 멸균백에 넣어 시료 균질기 (BagMixer 400 W, Interscience, Woburn, MA, USA)를 이용하여 3분간 균질하여 시험 원액으로 하였다. 미생물 검사를 위한 시험용액은 10배 희석법으로 10⁻¹-10⁻⁶ 단계별 희석하여 접종에 사용하였다. 사용된 생리식염수는 NaCl 8.5 g에 증류수를 가하여 1,000 mL로 하여 조제하고 121°C에서 15분 멸균하여 사용하였다. 일반세균 및 대장균 정량 시험을 위해 식품공전(MFDS, 2022)의 건조 필름 법에 따라 실시하였다. 일반세균 수는 3MTM PetrifilmTM Aerobic Count Plate (3M Health care, St. Paul, MN, USA)를 사용하였다. 배지 3매에 시험용액을 각 1 mL씩 접종한 후 35±1°C에서 48±2시간 배양한 후 colony 수를 계수하였다. 연어의 대장균 수는 3MTM PetrifilmTM E. coli/Coliform Count Plate (3M Health care, St. Paul, MN, USA)를 사용하였다. 배지 3매에 시험용액을 각 1 mL씩 접종한 후 35°C에서 24-48시간 배양한 후 생성된 푸른 colony 중 주위에 기포를 형성한 colony 수를 계수하였다. 그리고 식품공전에서 공시하는 15-300 CFU/plate인 경우의 세균 수 측정 식을 이용하여 산출하였다.

$$N = \frac{\Sigma C}{[(1 \times n_1) + (0.1 \times n_2)] \times (d)}$$

N : 시료 g 또는 mL 당 세균 집락수

ΣC : 모든 평판에 계산된 집락수의 합

n₁ : 첫 번째 희석배수에서 계산된 평판수

n_2 : 두 번째 회석배수에서 계산된 평균수
 d : 첫 번째 회석배수에서 계산된 평균의 회석배수

$$\text{VBN (mg\%)} = 0.14 \times \frac{(b - a) \times f}{W} \times 100 \times d$$

휘발성 염기질소 화합물 측정(volatile basic nitrogen, VBN)

연어의 휘발성 염기질소 화합물 (VBN) 측정은 식품공전상의 Conway 미량 확산법(MFDS, 2022)을 변형하여 측정하였다. 연어의 시험용액은 핏감으로 세절되어 있는 연어의 어육을 더욱 작게 세절하여 10 g을 칭량한 뒤 증류수 50 mL을 가하여 자력 교반기를 사용하여 200 rpm에서 10분 교반, 5분 정치를 3회 실시하여 총 30분 동안 침출된 용액을 1,763 ×g, 20°C에서 10분간 원심분리기(LaboGene 1248R, GYROZEN, Daejeon, Korea)를 사용하여 맑은 상층액을 취하고 Syringe Filter (0.45 μm)를 사용해 여과액으로 하였다. 이후 여과액을 5% H₂SO₄를 이용하여 약산성 pH (4-5)로 중화시켜 시험용액으로 사용하였다. 확산은 외실에 먼저 시험용액 1.0 mL를 넣어주고 내실에 0.01 N H₂SO₄ 1.0 mL를 정밀하게 넣어주고, 마지막으로 외실의 시험용액을 넣은 반대 부분에 빠르게 포화 K₂CO₃를 1.0 mL를 첨가하고 즉시 덮개를 덮어 클립으로 고정하여 Conway 용기를 전후좌우로 외실의 용액을 섞어주고 25°C에서 60분간 반응시켰다. 이후 Conway의 뚜껑을 열어 내실에 Brunswick시액을 10 μL를 내실에 취한 뒤, 0.01 N NaOH 용액으로 적정하여 적색에서 녹색으로 변화하면 종말점으로 실험을 종료하고 소비되는 양(a)을 측정하였다. 공시험은 증류수를 사용하여 평균치(b)를 구하여 식에 대입하였다. 3회 평균치를 구하여 다음의 식에 의해 계산하였다.

a : 검체에 대한 평균 0.01 N NaOH 소비량(mL)
 b : 공시험에 대한 0.01 N NaOH 소비량(mL)
 d : 검체의 회석배수(mL)
 f : 0.01 N NaOH 역가
 W : 검체의 채취량(g)

통계처리

모든 실험은 최소 3회 이상의 반복 실험을 실시하였으며, 결과는 평균±표준편차로 표현하였다. 통계분석은 Minitab 18 (Minitab Inc., State College, PA, USA)에 의해 수행하였다. 각 시료의 유의성(p<0.05) 검정을 위하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 사후검정으로는 Tukey의 다중범위시험을 실시하였다.

결과 및 고찰

모의 유통 환경 설정 및 온도 계측

식품(T1), 포장박스 내부(T2), 포장박스 외부(T3), 냉장고 내부를 상(T4), 중(T5), 하(T6), 냉장고 도어(T7)에 온도측정을 위한 Thermocouple을 부착했으며, 연어 저장 시 냉장고 온도의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 냉장고 높이별 내부의 온도분포는 A, B, C 모든 방법에서 냉장고 내부의 온도는 하부에서 상부로 갈수록 점차 온도가 증가하였다.

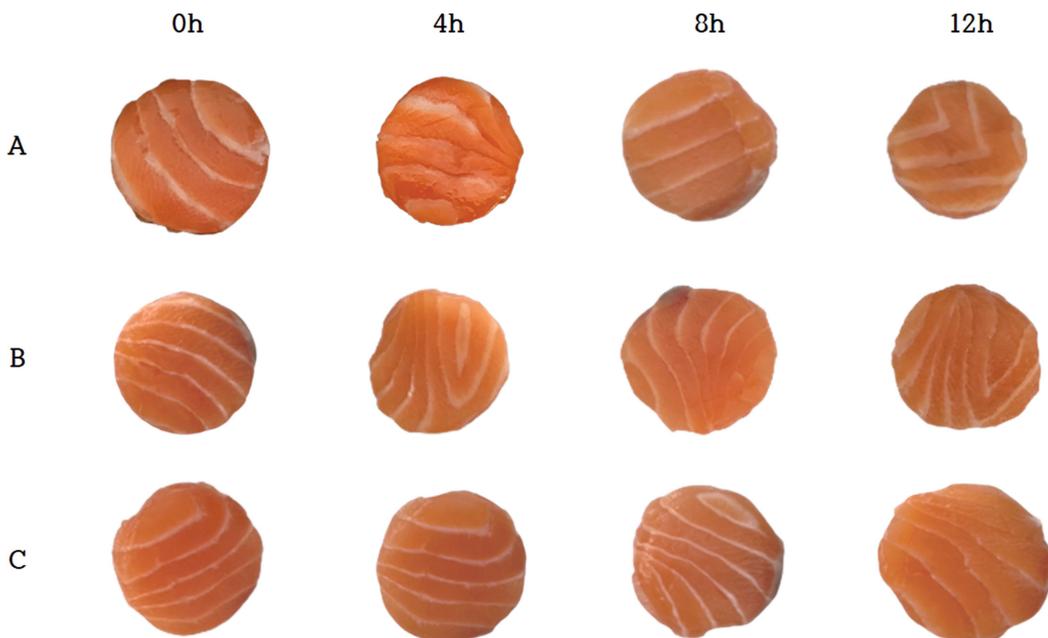


Fig. 2. Appearance of packaged salmon according to simulated cold distribution chain conditions. A: Conditions in an environment without variables, B: Conditions similar to general distribution environment, C: Worse conditions than the general distribution environment.

A 방법에서의 온도측정 결과는 식품(T1) 1.5-2.7°C, 포장박스 내부(T2) 2.0-3.5°C, 포장박스 외부(T3) 2.5-5.0°C, 냉장고 내부 상(T4) 4.1-5.4°C, 중(T5) 4.0-5.3°C, 하(T6) 3.5-4.7°C, 냉장고 도어(T7) 4.0-5.6°C로 측정되었다. B와 C 방법에서도 T1, T2의 온도는 A 방법과 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 B 방법에서 T3와 T4의 온도는 각각 4.6-7.1°C, 4.1-8.3°C로 약 3°C가 증가한 것을 확인할 수 있다. 반면에 냉장고 내부 중(T5) 3.0-4.8°C, 하(T6) 3.0-4.1°C로 감소한 것을 확인할 수 있다. C 방법에서도 T3 4.6-8.8°C, T4 5.8-10.0°C로 약 5°C가 증가한 것을 확인할 수 있었고 또한 냉장고 내부 중(T5) 3.9-4.3°C, 하(T6) 2.8-4.0°C로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 도어 개방에 따라서 냉장고 내부 상(T4)의 온도는 증가하였으며 중(T5), 하(T6)에서는 온도가 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 Heo et al. (2013)의 연구에서 냉장고 내부의 온도는 상부에서 하부로 내려갈수록 감소하였다는 결과와 유사하였다. 차가운 공기는 밀도가 높아서 냉장고 내부에 가라앉아 있다가 냉장고 도어가 개방되면 빠져나가고 따뜻한 공기가 유입되어 상부의 온도가 높게 나타난 것으로 생각된다(Kang & Chun, 2023). A, B, C 방법의 냉장고 도어(T7) 온도는 도어 개방 시간이 증가함에 따라 최고온도가 높게 측정된 것으로 따뜻한 공기가 더 많이 유입되어 높게 측정되었을 것으로 판단한다. 또한 Gao & Kim (2019)의 냉장고에 선반의 형태 및 위치에 따라 온도 조절에 영향을 미친다는 결과를 통해 효과적인 물품 적재 방법 및 위치 조절에 대한 연구가 필요하다.

외관 및 색도

배송환경에서 냉장고의 도어 개방 시간의 차이를 달리 하였을 때의 저장 시간에 따른 연어의 외관과 색도 변화는 각각 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다. 연어의 색감은 시각적으로 확인할 정도로 변화되지는 않았으며 표면에 수분이 생겨났다. 연어의 L^* 값은 저장 시간이 경과함에 따라 모든 방법에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 하지만 L^* 값은 증가하는 경향으로 저장 시간이 경과함에 따라 연어의 연육이 어두워지는 결과를 나타냈다. 연어의 a^* 값은 A 방법에서는 유의적인 변화가 없었으며($p>0.05$), B와 C 방법에서 모두 저장 8시간에서부터 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다($p<0.05$). 이는 신선한 연어일수록 카로티노이드(carotenoids)로 인해 주황색-빨간색, 열은 빨간색과 관련된 a^* (적녹도) 값이 더 높게 나타난다는 Dias et al. (2019)의 연구 결과와 유사하였다. 연어의 b^* 값은 모든 방법에서 8시간부터 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다($p<0.05$). 이에 따른 ΔE 값은 A, B, C 방법에서 저장 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. A, B 방법에서는 유의적인 차이를 나타내지 않았지만($p>0.05$), C 방법에서는 12시간에 유의적인 차이를 나타내었다($p<0.05$).

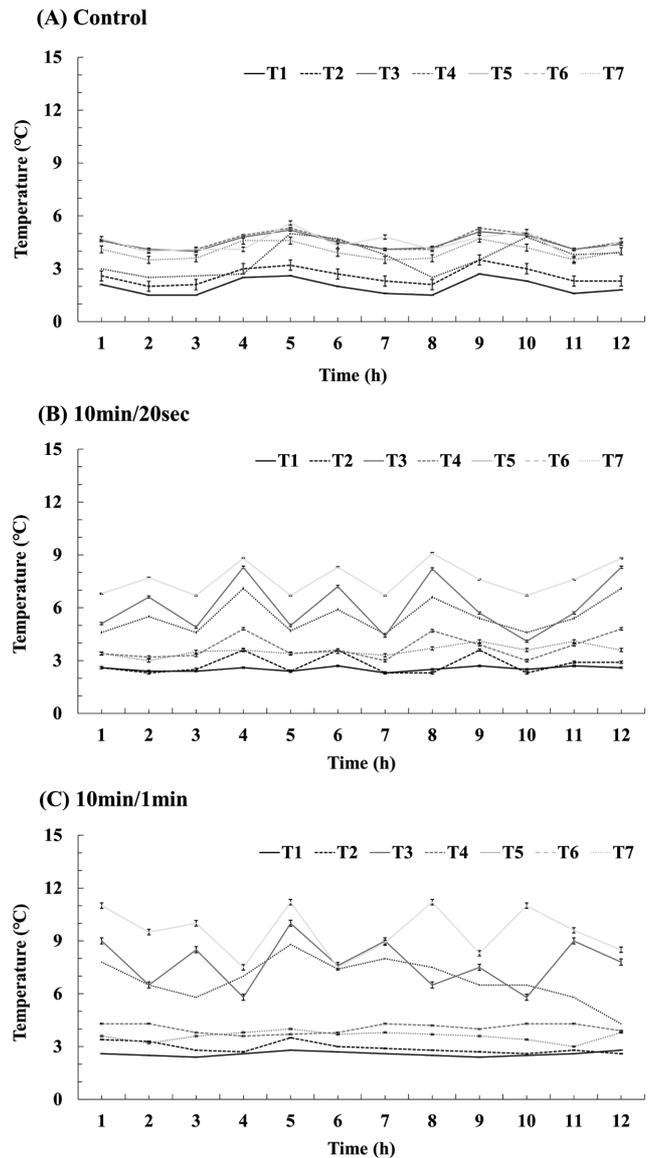


Fig. 3. Temperature measurement graph inside refrigerator, packaging box and salmon using the data logger. Food (T1), inside the packaging box (T2), outside the packaging box (T3), lower the inside of the refrigerator to the top (T4), center (T5), and bottom (T6), refrigerator door (T7). (A) is controlled, (B) opens for 20 seconds at 10-minute intervals and (c) opens for 1 minute at 10-minute intervals.

pH

냉장 온도에서의 도어 개방 시간 차이에 따른 연어의 pH 변화는 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 냉장저장 전 연어의 pH는 6.46 ± 0.02 로 나타나 일반적인 연어의 pH로 알려진 6.6과 유사한 결과를 보였다(Erikson & Misimi, 2008). 도어 개방 시 발생하는 스트레스로 인해 연어의 pH는 A 방법에서는 8시간부터 유의적으로 감소하는 경향을 보였으며($p<0.05$), B 방법에서는 유의적인 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$). C 방법에서는 저장 8시간부터 유의적

Table 2. Color and pH of packed salmon according to simulated cold distribution chain conditions

Conditions	Trait	0 h	4 h	8 h	12 h
A ¹⁾	L*	43.70±1.35 ^{2)a3)}	45.27±0.74 ^a	45.70±1.00 ^b	46.32±0.69 ^a
	a*	12.26±0.20 ^a	12.32±0.71 ^a	11.42±0.51 ^{ab}	11.03±0.11 ^{ab}
	b*	9.41±0.57 ^b	10.10±0.36 ^{ab}	11.91±0.44 ^a	11.45±1.85 ^a
	ΔE	-	1.52±0.47 ^a	2.46±0.60 ^a	3.21±0.77 ^a
B	L*	45.12±0.97 ^a	46.52±0.05 ^a	48.13±1.61 ^a	51.71±0.09 ^a
	a*	12.19±1.76 ^a	12.11±1.76 ^a	10.48±0.06 ^{bc}	10.15±0.76 ^{bc}
	b*	10.94±0.56 ^b	11.83±1.65 ^{ab}	12.31±1.65 ^a	12.65±1.42 ^a
	ΔE	-	4.24±0.67 ^{ab}	5.05±1.38 ^b	7.25±0.09 ^a
C	L*	47.48±0.04 ^{ab}	48.39±0.12 ^{ab}	48.94±0.21 ^{ab}	51.32±1.31 ^a
	a*	14.60±0.97 ^a	11.08±0.45 ^a	10.21±0.20 ^{bc}	10.29±0.53 ^c
	b*	9.22±1.19 ^{bc}	9.86±0.75 ^b	13.73±0.56 ^a	15.03±0.59 ^a
	ΔE	-	4.88±1.14 ^b	5.35±0.97 ^{ab}	7.60±0.96 ^a
A	pH	6.48±0.01 ^{a1)}	6.44±0.01 ^a	6.37±0.00 ^b	6.35±0.01 ^b
B		6.46±0.02 ^a	6.35±0.02 ^{ab}	6.33±0.03 ^{ab}	6.30±0.03 ^{ab}
C		6.45±0.00 ^a	6.43±0.03 ^{ab}	6.37±0.01 ^{bc}	6.32±0.00 ^c

¹⁾A: Conditions in an environment without variables, B: Conditions similar to general distribution environment, C: Worse conditions than the general distribution environment

²⁾All values are mean±SD.

³⁾All Values in the same row with the same letters (a-c) indicate significantly difference ($p<0.05$) by Tukey's multiple range test.

Table 3. Moisture content of packed salmon according to simulated cold distribution chain conditions

Conditions	Trait	0 h	4 h	8 h	12 h
A ¹⁾	Moisture content (%)	58.77±1.57 ^{2)ab3)}	59.11±0.82 ^a	61.55±0.96 ^a	61.46±1.35 ^a
B		62.33±0.15 ^b	62.91±1.27 ^b	64.62±1.68 ^{ab}	64.63±1.47 ^a
C		60.94±0.94 ^c	61.28±1.01 ^{bc}	62.26±1.33 ^{ab}	62.52±1.47 ^a

¹⁾A: Conditions in an environment without variables, B: Conditions similar to general distribution environment, C: Worse conditions than the general distribution environment

²⁾All values are mean±SD.

³⁾All Values in the same row with the same letters (a-c) indicate significantly difference ($p<0.05$) by Tukey's multiple range test.

인 차이를 나타내었다($p<0.05$). 연어의 pH는 결과적으로 도어 개방 횟수와 저장 시간이 증가함에 따라서 점차 감소하는 경향을 나타내었다. Wang et al. (2017)은 연어의 저장 기간이 길어질수록 연어 단백질은 분해되며 암모니아 화합물이나 트리메틸아민과 같은 알칼리성 화합물을 생성할 정도로 박테리아 수가 빠르게 증가하며 효소 작용으로 인해 연어의 pH가 감소할 수 있다고 보고하였다.

수분함량(moisture content, MC)

냉장 온도에서 도어 개방 시간의 차이에 따른 연어의 수분함량 변화는 Table 3에 나타내었다. 연어의 수분함량 변화는 A, B, C 방법에서 전체적으로 시간이 경과함에 따라서 수분함량이 증가하는 경향을 보였다. 초기 수분함량은 58-62%의 함량을 나타내었다. 또한 A 방법에서는 냉장 저장 전 연어에서는 저장 기간 동안 유의적인 차이를 나타내지 않았($p>0.05$). B 방법에서는 12시간에서 유의적인 차이를 나타내었고($p<0.05$), C 방법에서는 8시간부터 유의적으로 증가하는 값을 나타내었다($p<0.05$). 즉, 결과적으로 연어의 저장 기간에 따른 수분함량은 시간이 경과함에 따라서 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 수산물은 저장 기

간이 길어짐에 따라서 지방함량이 감소하는 경향이 있어 수분함량이 높게 측정된다는 연구 결과와 연관성이 있다고 판단된다(Cho et al., 2009).

경도(texture)

연어의 저장 기간 변화에 따른 질감 특성의 변화 정도를 평가하기 위해서 진행한 경도 측정 결과는 Table 4에 나타내었다. 연어의 경도는 A, B, C 방법에서 전체적으로 시간이 경과함에 따라서 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 생 연어의 경도에서부터 차이를 보였는데 이는 연어의 종류 및 부위마다의 조직감 차이는 근섬유의 굵기, 단위 부피 중의 근섬유의 양, 근섬유의 미세 구조 등의 차이 때문이라고 판단된다(Heu et al., 2015). A 방법에서는 저장 기간에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았으나($p>0.05$), B와 C 방법에서는 4시간부터 유의적인 차이를 나타내었다($p<0.05$). 이는 저장 시간을 달리한 광어, 도미의 품질 특성을 확인한 Sung et al. (2006)의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 또한 본 실험에서 연어는 저장 시간이 증가함에 따라서 수분의 함량이 증가했던 결과를 통해 연육이 연화되었다고 판단할 수 있다. 따라서 연어는 저장 시간이 증

Table 4. Texture of packed salmon according to simulated cold distribution chain conditions

Conditions	Hardness (N)	0 h	4 h	8 h	12 h
A ¹⁾	cycle 1 ²⁾	17.41±1.20 ^{4)a5)}	16.64±0.74 ^a	15.82±0.24 ^a	14.60±1.28 ^a
	cycle 2 ³⁾	12.09±0.45 ^a	12.69±0.73 ^a	11.63±0.65 ^a	10.02±2.39 ^a
B	cycle 1	21.61±0.26 ^a	17.35±0.18 ^b	14.56±0.97 ^c	13.27±0.86 ^c
	cycle 2	15.88±0.32 ^a	12.97±0.72 ^{ab}	10.80±0.96 ^{bc}	9.82±0.72 ^c
C	cycle 1	25.06±1.10 ^a	21.39±1.61 ^{ab}	19.91±1.49 ^{bc}	16.68±0.11 ^c
	cycle 2	18.94±0.59 ^a	15.72±0.07 ^b	14.88±0.54 ^b	12.29±0.33 ^c

¹⁾A: Conditions in an environment without variables, B: Conditions similar to general distribution environment, C: Worse conditions than the general distribution environment

²⁾First cycle when measured by TPA

³⁾Second cycle when measured by TPA

⁴⁾All values are mean±SD.

⁵⁾All Values in the same row with the same letters (a-c) indicate significantly difference ($p<0.05$) by Tukey's multiple range test.

Table 5. Aerobic bacteria and *E. coli* of salmon according to simulated cold distribution chain conditions

Conditions	Trait	0 h	4 h	8 h	12 h
A ¹⁾	Aerobic bacteria (log CFU/g)	2.27±1.89 ^{2)c3)}	2.37±0.47 ^c	2.60±0.82 ^b	2.67±0.94 ^a
B		2.12±0.02 ^c	2.68±0.07 ^b	2.69±0.02 ^{ab}	2.84±0.05 ^a
C		2.60±0.14 ^c	2.84±0.05 ^{bc}	3.03±0.00 ^{ab}	3.24±0.05 ^a
A	<i>E. coli</i> (log CFU/g)	ND ⁴⁾	ND	ND	ND
B		ND	ND	ND	ND
C		ND	ND	ND	ND

¹⁾A: Conditions in an environment without variables, B: Conditions similar to general distribution environment, C: Worse conditions than the general distribution environment

²⁾All values are mean±SD.

³⁾All Values in the same row with the same letters (a-c) indicate significantly difference ($p<0.05$) by Tukey's multiple range test.

⁴⁾ND : not detected

가할수록 경도가 감소하는 결과를 나타내었다고 판단된다.

일반세균 및 대장균

연어의 일반세균 및 대장균수는 Table 5에 나타내었다. 연어의 초기 일반세균 수는 2.12-2.60 log CFU/g로 나타났다. 연어의 일반세균 수는 A, B, C 방법에서 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였다. A 방법에서는 8시간부터 일반세균 수가 유의적으로 증가하는 차이를 나타내었다($p<0.05$). B 방법에서는 4시간부터 도어 개방 시간이 증가함에 따라서 일반세균 수는 유의적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다($p<0.05$). 하지만 C 방법에서는 8시간부터 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다($p<0.05$). 연어의 대장균은 검출되지 않았다. 부패단계로 식품으로 가치가 없다고 판단하는 기준은 10^7 - 10^8 CFU/g 이상이다 (Woo et al., 2012). 하지만 도어 개방 조건과 저장 시간에 따른 연어의 일반세균수는 2.12-3.24 log CFU/g의 범위를 보여 연어는 부패단계까지 도달하지는 않았다는 결과를 나타내었다.

휘발성 염기 질소 화합물 측정(volatile basic nitrogen, VBN)

VBN 측정은 어패류의 선도판정법 중에서 신선한 어육

에는 없거나 미량 함유되어 있던 것이 선도 저하에 따라 생성되어 증가하는 물질을 지표로 하는 대표적인 방법으로 알려져 있다(Kim et al., 2000). 연어의 VBN 값의 측정 결과는 Table 6에 나타내었다. 연어의 VBN 값은 A 방법에서는 유의적 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). B 방법에서는 저장 12시간부터 유의적인 차이를 나타내었다($p<0.05$). C 방법에서는 8시간부터 유의적인 차이를 나타내었고($p<0.05$), 냉장고 도어 개방 시간이 증가함에 따라서 VBN 값이 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 연어 손질 후에 시간이 경과할수록 VBN 값이 계속 증가한다는 보고를 하였다(Kim et al., 2000). 따라서 저장 기간이 증가할수록 유의적으로 증가하는 경향이 나타났다고 판단한다($p<0.05$). 또한 일반적인 신선식품 유통 상황보다 더욱 가혹하게 모의냉장배송 환경을 유도한 C 방법에서 12시간 저장한 연어의 VBN 함량은 8.58 mg/%로 나타났다. VBN 함량은 일반적으로 극히 신선한 어육에서는 5-10 mg/%, 보통 선도의 어육에서는 15-25 mg/100 g, 초기 부패의 어육에서는 30-40 mg/100 g, 부패한 어육에서는 50 mg/100 g 이상으로 알려져 있다(Joo et al., 2016). 즉, 부패 진행에 따라서는 VBN 값이 증가한다는 결과를 확인할 수 있고 상대적으로 A, B 방법보다는 C 방법에서의 배송체계에서 유통은 부패의 위험이 있을 것이라 판단된다.

Table 6. VBN of packed salmon according to simulated cold distribution chain conditions

Conditions	Trait	0 h	4 h	8 h	12 h
A ¹⁾	VBN (mg/%)	5.35±0.04 ^{2)a3)}	5.55±0.07 ^a	6.40±0.14 ^d	6.64±0.16 ^e
B		5.45±0.02 ^b	5.64±0.06 ^b	7.05±0.07 ^{ab}	7.59±0.13 ^b
C		6.28±0.06 ^c	7.20±0.45 ^{bc}	7.95±0.08 ^{ab}	8.58±0.11 ^a

¹⁾A: Conditions in an environment without variables, B: Conditions similar to general distribution environment, C: Worse conditions than the general distribution environment

²⁾All values are mean±SD.

³⁾All Values in the same row with the same letters (a-c) indicate significantly difference ($p<0.05$) by Tukey's multiple range test.

요약

본 연구는 생연어가 냉장 배송 중에 발생하는 품질변화를 알아보기 위해 냉장고 도어 개방 시간에 차이를 주어 품질변화를 비교하였다. 냉장고의 도어를 개방하지 않는 경우(A), 배송을 위해 도어를 개방하는 경우를 고려하여 10분마다 20초씩 간격을 주어 도어를 개방하는 경우(B), 더욱 가혹한 환경을 유도하기 위해서 10분마다 1분씩 냉장고 도어를 개방하는 경우(C)로 설정하여 측정하였다. 냉장고의 내부 온도 측정은 하부에서 상부로 올라갈수록 온도가 증가하는 경향을 보였다. 연어의 외관 및 색도는 외관에서는 큰 변화를 찾아볼 수 없었지만, 저장 시간이 증가함에 따라 표면에서 수분이 확인되었다. 연어의 pH는 저장 시간이 증가함에 따라 감소하였고, 수분함량은 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다($p<0.05$). 경도는 cycle 1 보다 cycle 2에서 더 낮은 값을 나타내었고, 저장 시간 증가에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 일반세균수는 저장 시간이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었지만($p<0.05$), 식품 부패단계 10^7 - 10^8 CFU/g 이하의 값으로 식품으로서의 가치는 보존하였다고 판단되었다. VBN도 증가하는 경향을 나타내었지만($p<0.05$), 신선한 어육 범위에 속하였다. 본 연구 결과를 통해서 저장 기간과 도어 개방이 증가함에 따라서 수산물 품질유지에 매우 취약한 환경이 조성될 수 있는 것을 확인할 수 있었으며, 유통에서의 다양한 포장방법과 실제 배송환경에서 식품에 미치는 영향에 대한 연구를 추가적으로 진행할 필요성이 있다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)의 국토교통지역혁신기술개발사업(과제번호 RS-2022-00143517)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Baek EJ, Joeng YJ, Jeong MA, Park JY, Kim KI. 2022. Phylogenetic and pathogenic traits of YHV3 and IHNV detected from

- imported frozen shrimp. J. Fish Pathol. 35.
- Cho YJ, Park HK, Kim SM, Shim KB. 2009. Changes of physicochemical properties during storage at an aquarium tank of wild and cultured gray mullet (*Mugil cephalus*) and red seabream (*Pagrus major*). The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education. 21: 451-458.
- Dias MV, Azevedo VM, Santos TA, Pola CC, Lara BRB, Borges SV, Sarantópoulos C. 2019. Effect of active films incorporated with montmorillonite clay and α -tocopherol: Potential of nanoparticle migration and reduction of lipid oxidation in salmon. Packag. Technol. Sci. 32: 39-47.
- Erikson U, Misimi E. 2008. Atlantic salmon skin and fillet color changes effected by perimortem handling stress, rigor mortis, and ice storage. J. Food Sci. 73: 50-59.
- FAO. 2022. The state of world fisheries and aquaculture 2022. Towards blue transformation. The State of World Fisheries and Aquaculture SOFIA.
- Farajzadeh F, Motamedzadegan A, Shahidi SA, Hamzeh S. 2016. The effect of chitosan-gelatin coating on the quality of shrimp under refrigerated condition. Food Control. 67: 163-170.
- Fogarty C, Whyte P, Brunton N, Lyng J, Smyth C, Fagan J, Bolton D. 2019. Spoilage indicator bacteria in farmed atlantic salmon (*Salmo salar*) stored on ice for 10 days. Food Microbiol. 77: 38-42.
- Føre HM, Thorvaldsen T, Osmundsen TC, Asche F, Tveterås R, Fagertun JT, Bjelland HV. 2022. Technological innovations promoting sustainable salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway. Aquac. Rep. 24: 101115.
- Gao JC, Kim JY. 2019. Simulation for improvement of temperature distribution inside refrigerator. KSMPE. 18: 98-103.
- Gavilan D, Balderas-Cejudo A, Fernández-Lores S, Martínez-Navarro G. 2021. Innovation in online food delivery: Learnings from COVID-19. Int. J. Gastron. Food Sci. 24: 100330.
- Heo KS, Lee SJ, Kim HJ, Seo ER. 2013. An experimental study for the high temperature and high humidity outside air in flow when the door is opened / closed in domestic refrigerators. The Korean Society of Mechanical Engineers Fall Meeting. May 10, Chungcheong, Korea, pp. 3385-3390.
- Heu MS, Choi BD, Kim KH, Kang SI, Kim YJ, Kim JS. 2015. Comparison on the food quality characteristics of muscles from salmonids according to species, imported country, and separated part. Rev Aquac. 48: 16-25.
- Horowitz JM. 2002. 10 Foods that pack a wallop. Time 159: 76-81.
- Joo SY, Park JA, Hwang HJ, Kim SJ, Choi JI, Ha JY, Cho MS. 2016. Effects of freezing-storage temperature on the shelf life of mackerel fish. Korean J. Food Sci. Technol. 48: 536-541.

- Kang HS, Chun JY. 2023. Effect of simulated refrigerated distribution environment on the quality of green lettuce and ground meat. *Food Eng. Prog.* 27: 19-30.
- Kim D, Chang YK, Park KH, Lee YC. 2000. Effects of sub-freezing systems on the freshness of pork loin, beef loin and tuna. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 341-348.
- Kulawik P, Özogul F, Glew R, Özogul Y. 2013. Significance of antioxidants for seafood safety and human health. *J. Agric. Food Chem.* 61: 475-491.
- Lee NG. 2020. Storage effects of seawater and tapwater ice for freshness of mackerel (*Scomber japonicus*). *The Korean Society of Applied Science and Technology* 37: 860-869.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021. General provisions. In: *Korean Food Code*. Chapter 1. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=3. Accessed Oct. 17, 2023.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022a. General Analytical Method in Food Code. Available from: http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_02.jsp?idx=263. Accessed Oct 17, 2023.
- Morachis-Valdez AG, Gómez-Oliván LM, García-Argueta I, Hernández-Navarro MD, Díaz-Bandera D, Dublán-García O. 2017. Effect of chitosan edible coating on the biochemical and physical characteristics of carp fillet (*Cyprinus carpio*) stored at -18°C. *Int. J. Food Sci.* 2017.
- Park CJ, Kim KY. 2022. Logistics fulfillment technology analysis using patent information-focusing on coupang's patents. *Korea Logistics Review.* 32: 93-104.
- Park JH, Lee CY, Choe YR, Lee JS, Heu MS, Kim JS. 2022. Collagen and texture properties of commonly consumed fish species in Korea as sliced raw fishes. *Rev. Aquac.* 55: 397-407.
- Park JS, Park DH, Kong CS, Lee YM, Lee JD, Park JH, Kim JG. 2018. Processing and characteristics of canned seasoned boiled oyster *crassostrea gigas* and canned seasoned roasted oyster *crassostrea gigas*. *Rev. Aquac.* 51: 469-476.
- Sigurgisladottir S, Sigurdardottir MS, Torrissen O, Vallet JL, Hafsteinsson H. 2000. Effects of different salting and smoking processes on the microstructure, the texture and yield of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Food Res. Int.* 33: 847-855.
- Sung KH, Chae KY, Hong JS. 2006. Changes by rigor mortis of flounder. Seabream with different storage time and quality characteristics of sushi making. *J. East Asian Soc. Diet. Life.* 16: 438-446.
- Wang Z, Hu S, Gao Y, Ye C, Wang H. 2017. Effect of collagen-lysozyme coating on fresh-salmon fillets preservation. *LWT.* 75: 59-64.
- Woo HI, Kim JB, Choi JH, Kim EH, Kim DS, Park KS, Kim EJ, Eun JB, Om AS. 2012. Evaluation of the level of microbial contamination in the manufacturing and processing company of red pepper powder. *J. Food Hyg. Saf.* 27: 427-431.
- Yoon HY. 2022. Analysis of cold chain issue changes in the news. *Korea International Commercial Review.* 37: 267-289.

Author Information

- 이유진:** 제주대학교 식품생명공학과 학부생
이해윤: 제주대학교 식품생명공학과 연구원
현지용: 제주대학교 식품생명공학과 석사과정생
천지연: 제주대학교 식품생명공학 부교수