

Step-cooling 알고리즘에 의해 제어되는 과냉각 저장이 갈치(*Trichiurus lepturus*)의 신선도 유지에 미치는 영향

김종진 · 박동현 · 김은정¹ · 최미정*

건국대학교 축산식품생명공학과, ¹LG전자 H&A사업본부 키친어플라이언스연구소

Effect of Supercooling Controlled by Step-cooling Algorithm on Freshness of Hairtail (*Trichiurus lepturus*)

Jong Jin Kim, Dong Hyeon Park, Eun Jeong Kim¹, and Mi-Jung Choi*

Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University

¹Refrigerator Research of Engineering Division, Home Appliance and Air Solution Company, LG Electronics

Abstract

In this study, the effect of supercooling (-2°C) on the preservation quality of hairtail (*Trichiurus lepturus*) was evaluated during a storage period up to 12 days. Quality factors such as appearance, color, drip loss, water holding capacity (WHC), pH, trimethylamine (TMA), volatile basic nitrogen (VBN), and total viable count (TVC) of supercooled hairtail samples were evaluated and compared with those of refrigerated (3°C), and frozen (-18°C) samples. As a result, the values of drip loss, VBN, TMA, and TVC of the supercooled sample after 12 days were 2.32%, 9.45 mg/100 g, 2.60 mg/100 g, and 4.89 log CFU/mL, which are significantly lower than those of the refrigerated sample ($p < 0.05$). Compared to freezing for 12 days, there are no significant differences with drip loss, pH, VBN, and TMA ($p > 0.05$). The WHC of the supercooled samples during 12 days of storage period was significantly higher than that of the frozen sample ($p < 0.05$). Based on this study, it could be suggested that supercooling is effective to maintain fresh fish quality in accordance with minimizing microbial growth, and retarding deterioration.

Key words: hairtail, step-cooling, supercooling, freshness

서론

갈치(*Trichiurus lepturus*)는 2020년 기준으로 65,719톤이 생산되어, 그 양은 국내 어류 생산량 중 멸치와 고등어에 이어 3번째로 집계되어 우리나라의 대표적인 어종 중 하나이다(Statistics Korea, 2021). 또한, 갈치는 동태평양과 대서양에 주로 서식하는 생태적 특성 때문에 아시아 수산업에서 중요한 어종 중 하나이다(Semedo et al., 2018). 갈치에는 지방 함량이 3.12%로, 올레산, 팔미톨레산과 같은 단일 불포화 지방산이 다량 함유되어 있다(Durmus, 2019). 하지만, 불포화지방산 함량이 높아 다른 바다 어류에 비하여 쉽게 품질이 저하된다(Jo et al., 2021).

어류의 신선도를 유지하는데 있어서 온도의 역할은 중요하다(Yang et al., 2019). 일반적으로, 신선상태의 어류를

유통하는 방법으로 냉장, 냉동, superchilling이 사용되고 있다. 냉장 상태의 어류는 유통과정 중에 쉽게 손상될 수 있고, 미생물의 성장이나 효소적 반응으로 인하여 저장 기간에 한계가 있다(Luan et al., 2017). 냉동의 경우에는, 저장 중 발생하는 얼음 결정체에 의해 조직에 물리적 손상을 주어 드립 유출, 보수력 감소 등이 발생할 수 있다(Bing & Sun, 2002). Superchilling은 식품 표면에 얼은 얼음이 발생하여 shell freezing이라고도 불리는 저장방법으로, 어는점 부근의 온도를 유지시켜 과냉각과 유사하지만, 얼음 결정체가 생겨 온도를 낮추거나 저장기간이 늘어나면 얼음 결정체의 크기가 커져서 조직에 손상을 주기 때문에 품질이 저하되는 문제가 발생한다(Yang et al., 2018). 기존의 저장 방법이 가지는 문제점을 해결하기 위해 식품의 저장방법으로 과냉각 저장이 제안되며, 많은 연구가 수행되고 있다(Wang et al., 2007; Fukuma et al., 2012; Luan et al., 2017).

과냉각은 얼음 결정을 형성하지 않고 식품의 온도를 빙점 이하로 낮추는 방법이다(Lee, 2020). 이러한 저장방법은 얼음결정체를 형성하지 않아 식품의 조직을 파괴하지 않고 유통기한을 연장시킬 수 있다(Hong & Choi, 2016).

*Corresponding author: Corresponding author: Mi-Jung Choi, Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Korea. Tel: +82-2-450-3048; Fax: +82-2-450-3726

E-mail: choimj@konkuk.ac.kr

Received August 11, 2021; revised August 18, 2021; accepted August 20, 2021

하지만, 과냉각은 외부의 충격이나 온도변화에 취약하고, 또한 고체 식품의 경우 낮은 열전도도와 얼음 결정체가 생성될 수 있어 과냉각 상태를 유지하기가 어렵다(Hong et al., 2018; Lee, 2020). 이러한 한계점을 극복하기 위해 고압, 전자기장과 같은 기술들이 적용되고 있다(Lee, 2020). 하지만, Otero et al. (2016)에 따르면, 전자기장이 적용된 냉동고의 냉동 제품의 품질 향상에 대한 효과가 여러 문헌에서 모순되고 있고, 더 많은 연구에 대한 필요성이 요구되고 있다. 한편, 식품의 과냉각 저장에 관한 연구는 오랜 기간동안 연구되어 왔다. 그 중 어류의 과냉각 저장에 관한 연구는 방어, 넙치, 도미, 참치의 과냉각 저장에 관한 연구(Fukuma et al., 2012; Kobayashi et al., 2015) 등이 연구되었으나, 갈치의 과냉각 저장에 따른 품질변화와 냉장 및 냉동과의 비교에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 과냉각 저장 중 얼음결정체 형성을 막기 위해 계단식 알고리즘을 적용하였다. 하한온도는 -2°C로 설정하였고, 54시간마다 -1°C로 저장온도를 높여 과냉각 시료가 얼지 않도록 알고리즘을 반복하여 설정하였다. 냉장(3°C), 냉동(-18°C), 과냉각(-2°C)에 각각 저장하여 12일동안 저장하였고, 3일마다 품질평가를 실시하였다.

재료 및 방법

시료 준비

본 실험에서 사용된 갈치는 제주에서 조업된 것을 서울의 대형마트에서 구입하였다. 갈치는 약 11 cm 내외로 절단하였고, 무게는 약 69 g 내외의 것을 사용하였다. 이를 17 × 11.5 × 2 cm (가로 × 세로 × 높이) 크기의 폴리스티렌 용기(TY-30, TAEYANG INDUSTRIAL CO., Daegu, Korea)에 담아 랩 포장기(AP-400, ACE PACKAGING MACHINERY CO., Pocheon, Korea)를 이용하여 식품용 랩(Food Wrap, SYC, Seoul, Korea)으로 2회 감아서 합기포장하였다.

저장 방법

저장온도에 따른 갈치의 품질변화를 보기 위해 시료는 냉장, 냉동 및 과냉각 저장하였다. 냉장과 냉동 시료는 각각 3°C와 -18°C로 설정된 냉장고(R-F875HBSW, LG electronics, Seoul, Korea)에서 저장하였다. 과냉각 저장은 포장된 갈치를 폴리스티렌 상자에 3개씩 넣고 온도변화 기록을 위해 포장된 갈치의 랩표면에 T-type의 써모커플을 부착한 후, 테이프를 밀봉하였다. 부착된 써모커플은 data logger (MX100, YOKOGAWA, Tokyo, Japan)에 연결하여 1분 간격으로 측정하였다. 테이프를 밀봉된 폴리스티렌 박스를 과냉각 알고리즘이 설정된 냉장고(K418S11, LG electronics, Seoul, Korea)에 저장하였다. 과냉각 알고리즘은 -1°C에서 -2°C까지 18시간마다 0.5°C 간격으로 계단식 하한 냉각이 반복되는 사이클로 설정하였다. 모든 시료는

12일간 저장하였고, 3일 간격으로 품질 변화를 측정하였으며, 냉동 시료의 경우 -18°C로 설정된 냉장고(R-F875HBSW)에서 시료의 중심온도가 3°C에 도달할 때까지 해동하였다.

외관

갈치의 외관은 시료의 포장을 제거한 후, 검은색 판의 중앙에 놓고, 카메라(EOS 100D, Canon, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

색도

갈치의 표면을 색도계(CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 색도계를 표준 백색판(L* = 96.06, a* = -0.38, b* = 1.23)으로 보정하고 측정하였으며, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 표 색계에 따라 CIE L* (명도), CIE a* (적색도), CIE b* (황색도)값으로 나타내었다. 시료별로 5회 반복하여 측정하였고, 색차(total color difference, ΔE)는 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(CIE L_1 - CIE L_2)^2 + (CIE a_1 - CIE a_2)^2 + (CIE b_1 - CIE b_2)^2}$$

CIE L₁, CIE a₁, CIE b₁: 저장 후 갈치의 명도, 적색도, 황색도 값

CIE L₂, CIE a₂, CIE b₂: 신선한 갈치의 명도, 적색도, 황색도 값

Drip loss

저장이 종료된 갈치의 drip loss는 갈치 표면의 수분을 제거하고 측정된 갈치의 무게와 저장에 들어가기 전 측정된 신선한 갈치의 무게를 이용하여 다음의 식에 대입하여 계산하였다.

$$\text{Drip loss (\%)} = \frac{(\text{신선한 갈치의 무게(g)} - \text{저장이 종료된 갈치의 무게(g)})}{\text{신선한 갈치의 무게(g)}} \times 100$$

보수력

보수력은 Lee (2020)의 방법을 이용하여 측정하였다. 1 g의 시료를 멸균거즈가 담긴 코니컬 튜브에 넣고, 원심분리기(LaboGene 1736R, GYROGEN, Daejeon, Korea)를 통하여 3,000 rpm으로 4°C에서 10분간 원심분리한 후, 원심분리가 완료된 시료의 무게를 측정하였다. 갈치의 보수력은 원심분리 전 시료의 무게와 원심분리 후 시료의 무게를 측정하여 다음의 식으로 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} = \frac{\text{원심분리 후 시료의 무게(g)}}{\text{원심분리 전 시료의 무게(g)}} \times 100$$

pH

시료 5 g을 취하여 증류수 20 mL를 가한 후 블렌더 (MQ736, De'Longhi Romania SRL, Juc-Herghelie, Romania)로 마쇄하여 pH-meter (Orion™ 3-star Benchtop pH Meter, Thermo Scientific™, Waltham, MA, USA)로 3회 반복 측정하였다.

휘발성 염기태 질소 함량 (volatile basic nitrogen, VBN)

VBN은 Kuda et al. (2002)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 5 g을 취하여 멸균 필터백에 넣고 증류수 20 mL를 가한 후 스토마커(BKST-04C, Bio Konvision, Gwacheon, Korea)로 3분간 혼합하여 Whatman 2번 여과지(GR 02, GE Healthcare Life Sciences, Buckinghamshire, UK)으로 여과하였다. 여과액을 Conway 접시의 외실에 1 mL 투입하고 내실에 0.01N 붕산 용액 1 mL와 Conway 시약 0.1 mL를 가한 후, 포화탄산칼륨 용액 1 mL를 외실에 투입하고 뚜껑으로 밀봉하여 37°C 온도의 항온기(103M, Vision Lab & Instrument, Incheon, Korea)에서 2시간 반응시켰다. 반응 후 0.02N 황산 용액으로 Conway 시약이 선홍색으로 변색되는 시점까지 적정하고, 이를 종말점으로 하여 다음 식에 대입하여 값을 계산하였다.

$$\text{VBN}(\text{mg}/100\text{g}) = \frac{14.007 \times (a-b) \times f \times 100 \times c}{s}$$

- a: 시료를 적정하는데 소모된 황산의 양(mL)
- b: 공시료를 적정하는데 소모된 황산의 양(mL)
- c: 희석 배수(5)
- f: 황산의 표준화 지수(0.02)
- s: 시료의 양(g)

트리메틸아민 함량 (trimethylamine, TMA)

TMA는 Kang et al. (2021)의 방법으로 측정하였다. 시료 4 g을 취하여 4% 트리클로로아세트산 용액 16 mL를 가한 후 스토마커(BKST-04C)로 3분간 혼합하여 Whatman 42번 여과지(GR 42, GE Healthcare Life Sciences, Buckinghamshire, UK)로 여과하였다. 지시약은 브로모크레졸 0.01 g, 메틸 레드 0.02 g을 에탄올 10 mL에 용해시켜 두 용액을 혼합한 후 증류수를 가하여 제조하였다. 시료 추출액과 10% 포름알데히드 시약을 가한 후, 포화탄산칼륨 용액 1 mL를 외실에 투입하고 뚜껑으로 밀봉하여 37°C 온도의 항온기(103M)에서 1시간 반응시켰다. 반응 후 0.02N 염산 용액으로 지시약이 분홍색으로 변색되는 시점까지 적정하고, 이를 종말점으로 하여 다음 식에 대입하여 값을 계산하였다.

$$\text{TMA}(\text{mg}/100\text{g}) = (a-b) \times (N \times A) \frac{\left\{ \left(s \times \frac{M}{100} \right) + e \right\} \times 100}{s}$$

- a: 시료를 적정하는데 소모된 염산의 양(mL)
- b: 공시료를 적정하는데 소모된 염산의 양(mL)
- N: 염산의 노르말 농도(0.02)
- A: 질소의 원자량(14.00)
- s: 시료의 양(g)
- M: 시료의 수분함량(%)
- e: 시료추출에 사용된 4% TCA 용액의 부피(mL)

일반세균수 측정

시료 2 g을 취하여 멸균 필터백에 넣고 멸균된 생리 식염수(NaCl 0.85%) 8 mL를 가한 후 스토마커(BKST-04C)로 3분간 혼합하여 여과하였다. 여과액을 10배 연속 희석 방법으로 희석하여 시료로 사용하였다. AC film (Petrifilm™ Aerobic Count Plate, 3M, Saint Paul, MN, USA)에 희석액 1 mL를 분주하고 누름판으로 누른 후 항온기에서 35±1°C에서 48±2시간 배양 후 배지 내 형성된 집락의 수를 세어 일반세균수를 계산하였다.

통계분석

실험 결과는 SPSS 통계 프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 24.0 IBM., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석 후 Duncan's multiple range test로 유의성 검증($p < 0.05$)을 실시하였다.

결과 및 고찰

온도 곡선

과냉각 저장은 식품의 수분이 어는점 이하의 온도에서 얼지 않은 상태를 유지하며 저장하는 것으로, 식품에 존재하는 용질로 인하여 각기 다른 어는점을 가진다(Hong et al., 2018). 어류의 어는점은 -0.6~-2.0°C (Chen & Pan, 1997), -1~-2.5°C (Sivertsvik et al., 2002)으로 보고되고 있다. 이와 같이 어류의 어는점은 어종별로 차이가 있기에, 과냉각 저장에서 최대 하한 온도설정이 중요하였고, Luan et al. (2017)에 따르면, 갈치의 어는점을 -1.9°C로 보고 되어 있어, 본 실험의 과냉각 저장에서 최대 하한 온도를 -2°C로 설정하였다. 저장 기간에 따른 과냉각 처리 시료의 온도변화는 Fig. 1에서 나타내었다. 초기 냉각 온도를 -1°C로 설정하여 18시간마다 0.5°C씩 감소시키는 계단식 냉각을 사용하였고, 최대 하한 온도를 -2°C로 설정하여 목표 온도에 도달 시 다시 초기 냉각 온도로 돌아와서 반복되는 사이클으로 저장하였다. 과냉각 상태는 매우 불안정한 상태로, 외부의 충격이나 온도변화로 급격한 상변화가 일어

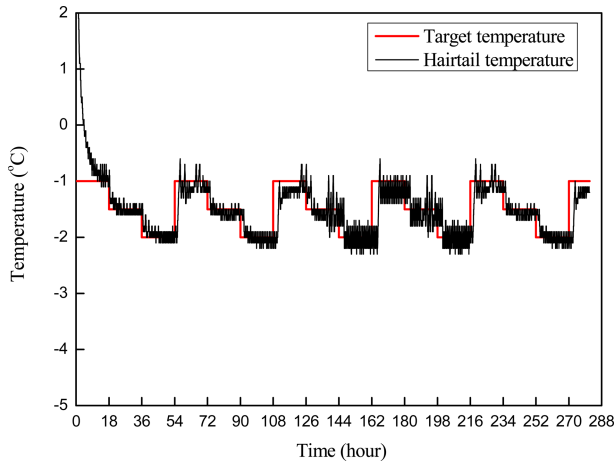


Fig. 1. Temperature curves of target temperature and hairtail stored with step-cooling program for 12 days.

나고(Hong et al., 2018), 동결점에 도달 시, 열 방출 현상으로 온도가 빠르게 상승하였다가 다시 낮아지게 된다(Park et al., 2016). 12일간의 저장 기간 동안, 상변화로 인한 온도상승이 관찰되지 않았고 목표 온도 내에서 유지되는 것을 확인하였다.

외관 및 색도

식품에서 색은 소비자가 품질에 대해 인식하는 측면에서 향이나 맛보다 중요한 특성으로 인지된다(Özkan et al., 2003). 저장 온도 및 저장 기간에 따른 갈치의 외관은 Fig. 2, 색도는 Table 1에서 나타내었다. 신선한 갈치의 CIE L* (명도), CIE a*(적색도), CIE b*(황색도) 값은 각각 81.78, -0.35, -1.76로 측정되었다. 냉장 시료의 경우 명도는 6일차를 기점으로 유의적으로 감소하였고($p<0.05$), 적색도와 황

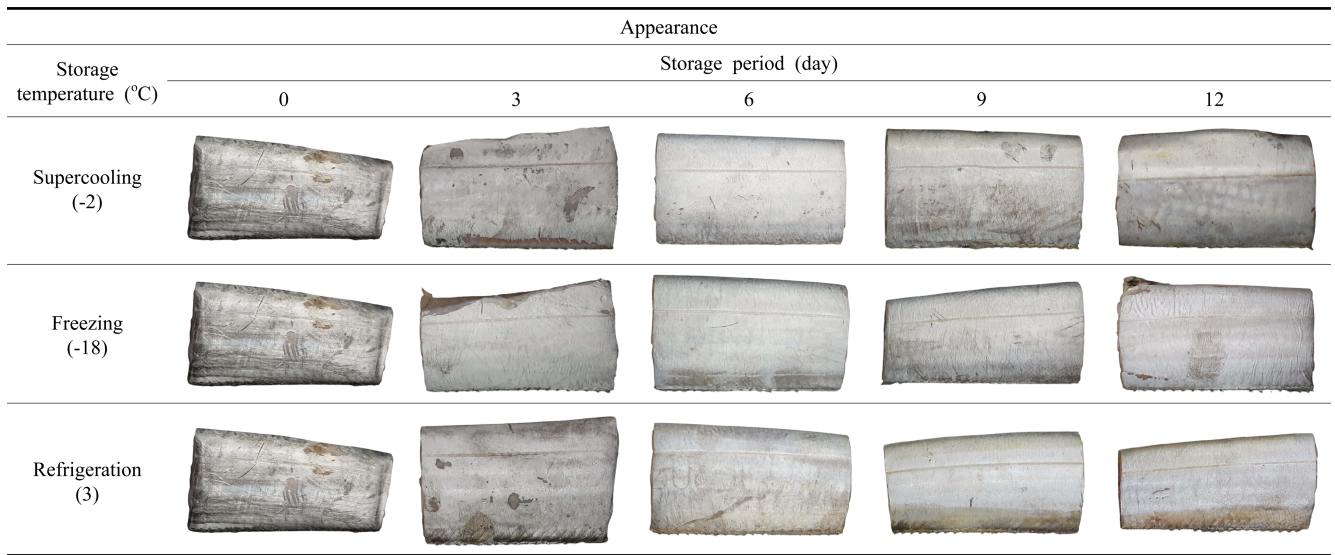


Fig. 2. Appearance of hairtail with different storage temperature and storage period.

Table 1. Color of hairtail with different storage temperature and storage period

Color	Storage temperature (°C)	Storage period (day)				
		0	3	6	9	12
CIE L*	Supercooling (-2)	81.78±2.98 ^A	79.66±4.10 ^{abA}	81.85±4.87 ^{bA}	82.25±4.24 ^{aA}	82.55±3.43 ^{aA}
	Freezing (-18)	81.78±2.98 ^A	76.58±8.42 ^{bb}	77.44±3.02 ^{cb}	77.32±4.12 ^{bb}	73.79±6.43 ^{cb}
	Refrigeration (3)	81.78±2.98 ^{BC}	82.96±3.56 ^{abC}	84.67±1.74 ^{aAB}	80.29±4.55 ^{abC}	77.15±2.11 ^{bd}
CIE a*	Supercooling (-2)	-0.35±0.20 ^A	-0.63±0.18 ^{bb}	-0.32±0.20 ^{aA}	-0.42±0.23 ^{aA}	-0.31±0.22 ^{aA}
	Freezing (-18)	-0.35±0.20 ^{AB}	-0.17±0.44 ^{aA}	-0.33±0.30 ^{aAB}	-0.55±0.26 ^{aB}	-0.37±0.37 ^{aAB}
	Refrigeration (3)	-0.35±0.20 ^{BC}	-0.64±0.13 ^{bb}	-0.73±0.12 ^{bA}	-0.79±0.39 ^{bc}	-0.84±0.20 ^{bc}
CIE b*	Supercooling (-2)	-1.76±0.46 ^B	-2.35±1.00 ^{bc}	-1.37±0.68 ^{aB}	-0.83±0.78 ^{aA}	-1.86±0.56 ^{aBC}
	Freezing (-18)	-1.76±0.46 ^A	-1.63±0.91 ^{aA}	-1.86±0.59 ^{abAB}	-1.94±1.01 ^{bAB}	-2.35±0.49 ^{aB}
	Refrigeration (3)	-1.76±0.46 ^A	-2.47±0.45 ^{bb}	-2.06±0.79 ^{bAB}	-1.56±1.18 ^{abA}	-1.81±1.19 ^{aAB}
ΔE	Supercooling (-2)	-	4.05±2.34 ^{bA}	3.80±2.99 ^{aA}	3.64±2.37 ^{aA}	2.90±1.94 ^{bA}
	Freezing (-18)	-	7.46±6.43 ^{aA}	4.48±2.86 ^{aA}	5.08±3.43 ^{aA}	8.10±6.34 ^{aA}
	Refrigeration (3)	-	3.51±1.37 ^{bA}	3.15±1.50 ^{aA}	3.93±2.89 ^{aA}	4.64±2.11 ^{bA}

^{a-c}Means with different letters within the same storage period are significantly different ($p<0.05$).

^{A-D}Means with different letters within the same storage temperature are significantly different ($p<0.05$).

색도는 저장 기간에 따른 경향을 보이지 않았다($p>0.05$). 냉동 시료의 경우 명도는 저장기간에 따른 경향을 보이지 않았지만($p>0.05$), 12일차 저장 시 유의적으로 가장 낮은 값이 측정되었다($p<0.05$). 냉동된 어류의 경우, 저장 중에 표면의 수분 손실과 얼음결정으로 인하여 변색된 상태로 보이는 freezer-burn이 발생할 수 있다는 보고가 있다 (Mills, 1975). 이와 같이 저장 중에 freezer-burn이 일어나서 다른 시료에 비해 유의적으로 낮은 명도 값이 측정된 것으로 생각된다. 적색도와 황색도도 마찬가지로 저장기간에 따른 경향을 보이지 않았다($p>0.05$). 과냉각 시료의 경우 명도, 적색도, 황색도 모두 저장기간에 따른 경향을 보이지 않았고, 명도는 원물과 비교하여 12일차에 82.55로 증가하였다($p>0.05$). 색차의 경우에도 모든 시료에서 기간에 따른 경향을 보이지 않았고($p>0.05$), 전반적으로 냉동 저장 시료가 6일차 시료를 제외하곤 모두 다른 저장시료와 비교하여 유의적으로 높은값이 측정되었다($p<0.05$).

Drip loss

어육으로부터 유출되는 drip에는 다량의 아미노산이 포함되어 있고, 이는 미생물의 증식에 필요한 영양원으로 부패가 촉진된다(Akhtar et al., 2013). 또한, drip의 손실은 중량감소와 영양소 손실을 발생시켜 품질에 부정적인 영향을 미친다(Kaale et al., 2014). 저장 온도 및 저장 기간에 따른 갈치의 drip loss를 Fig. 3에서 나타내었다. 냉장 시료의 경우, 3일차에서 1.61%로 측정되었고, 12일차에선 7.16%로 측정되어, 나머지 두 처리구와 비교하여 저장 기간에 따라 drip loss가 유의적으로 증가하는 경향을 보였다($p<0.05$). Oyelese (2007)에 따르면, drip의 유출은 단백질 변성으로 인한 근육 단백질의 탈수에서 야기된다.

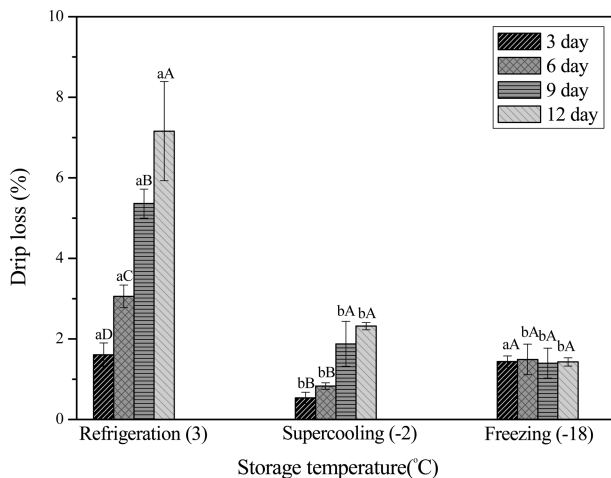


Fig. 3. Drip loss of hairtail with different storage temperature and storage period. ^{a-b}Means with different letters within the same storage period are significantly different ($p<0.05$). ^{A-D}Means with different letters within the same storage temperature are significantly different ($p<0.05$).

냉장 시료의 경우, 저장기간에 따라 drip loss가 유의적으로 증가하였다($p<0.05$). 냉동 시료의 경우, 3일차 저장 시료에서 drip loss가 1.44%로 측정되어 동일한 저장 기간에서 냉장과 비슷한 수준의 drip loss가 측정되었으나, 저장 기간에 따른 유의적인 변화는 보이지 않았다($p>0.05$). 과냉각 시료의 경우 3일차에서 0.54%로 다른 처리구와 비교하여 유의적으로 낮은 값을 보였다($p<0.05$), 6일간 저장 후 증가하는 경향을 보였다. 마지막 저장일차인 12일차에서는 냉장, 과냉각, 그리고 냉동 순으로 drip loss가 높았으며, 냉동과 과냉각 시료 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). Xu et al. (2018)에 따르면, 사후의 어류를 4°C와 -2°C에서 저장하여 더 낮은 온도에서의 저장이 단백질 변성을 지연시킨다고 한다. 이에 따라, 과냉각 및 냉동보다 높은 온도에서 저장한 냉장 시료의 단백질 변성이 빠르게 일어나 drip의 유출이 더 많이 발생한 것으로 판단된다.

보수력

보수력은 제품의 외관 및 기호성, 수율, 품질에 있어서 중요하고, 근육의 pH에 영향을 받는다고 알려져 있다(Choi et al., 2002). 저장 조건과 기간에 따른 갈치의 보수력은 Fig. 4에 나타내었다. 신선한 갈치의 보수력은 90.99%로 측정되었다. 냉장 시료의 경우 저장 기간에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았지만($p>0.05$), 모든 저장기간 동안 다른 처리구에 비하여 유의적으로 높은값이 측정되었다($p<0.05$). Park et al. (2002)에 따르면 사후의 pH가 높을수록 보수력은 유의적으로 높게 측정되었으며, 이에 따라 냉장 처리구의 pH가 저장 기간동안 단백질의 분해로 인해 생성된 암모니아태질소 및 아미노태 등으로 인해 증가하여(Joo et

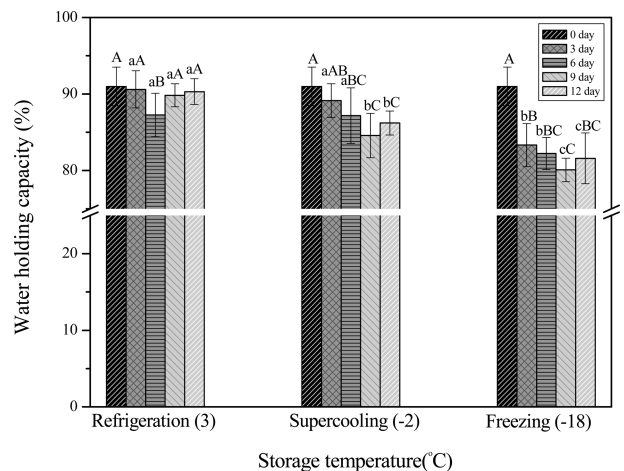


Fig. 4. Water holding capacity of hairtail with different storage temperature and storage period. ^{a-c}Means with different letters within the same storage period are significantly different ($p<0.05$). ^{A-C}Means with different letters within the same storage temperature are significantly different ($p<0.05$).

al., 2016) 보수력이 높게 측정된 것으로 생각된다($p < 0.05$). 냉동 시료의 경우, 신선한 갈치와 비교하여 3일차 저장에서 83.33%로 유의적으로 감소하였고($p < 0.05$), 3일차 이후에도 감소하는 경향을 보였다. 과냉각 처리구의 경우에도 갈치 원물과 비교하여 6일차 저장에서 87.17%로 유의적으로 감소하였고($p < 0.05$), 냉동시료와 마찬가지로 3일차 이후에도 감소하는 경향을 보였다. 12일간 저장하였을 때, 각 처리구별로 유의적인 차이가 있었으며($p < 0.05$), 냉장 처리구가 90.31%로 가장 높았으며, 냉동 처리구가 81.59%로 가장 낮았다.

pH

저장 조건과 기간을 달리한 갈치의 pH는 Fig. 5에 나타내었다. 신선한 갈치의 pH는 6.91로 측정되었다. 냉장 시료의 경우, 원물과 비교하여 저장기간에 따라 pH가 유의적으로 증가하는 경향을 보였다($p < 0.05$). 다음의 결과는 고등어, 꽁치, 조기를 4°C, 0°C 및 -19°C에서 저장하여 저장기간에 따라 부패로 인해 pH가 증가했다는 내용의 선행 연구와 일치하였다(Byun et al., 2003). 냉동 시료의 경우 원물과 비교하여 저장 기간에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). 과냉각 처리구의 경우, 저장기간에 따른 유의적인 변화는 보이지 않았다($p > 0.05$). 저장이 종료되는 12일차에서는 과냉각과 냉동 처리구 간의 유의적인 차이가 없었으며($p > 0.05$), 냉장 처리구에서 8.03으로 유의적으로 높은 값을 보였다($p < 0.05$). Park et al. (2016)에 따르면, 일반적으로 생선 사후에 여러 효소와 미생물이 단백질을 분해하여 생성된 암모니아태질소와 아미노태로 인해 pH의 상승이 일어난다고 보고하였다. 따라서, 과냉각 처리구는 효소와 미생물로 인한 단백질 분해가 냉장에 비하여 적게

일어났다고 판단된다.

휘발성 염기태 질소(VBN)

VBN은 어육단백질의 효소와 미생물에 의한 분해로 생성되며, 암모니아와 아민으로 구성된 화합물로, VBN 측정을 통해 어패류의 신선도 저하로 인한 부패를 판정할 수 있다(Joo et al., 2016; Lee, 2020). 일반적인 기준으로 VBN 함량이 5-10 mg/100 g은 신선한 상태, 15-25 mg/100 g은 보통의 선도, 30-40 mg/100 g은 초기부패상태, 50 mg/100 g 이상은 부패가 심한 상태를 나타낸다(Song et al., 2005). 저장온도 및 기간을 다르게 처리한 갈치의 VBN 함량은 Fig. 6에 나타냈다. 신선한 갈치의 VBN 함량은 6.77 mg/100 g으로 측정되었다. 냉장 시료의 경우 저장 기간에 따라 유의적으로 증가하였고($p < 0.05$), 12일차 저장에서 52.76 mg/100 g으로 급격하게 증가하여 가장 높은 VBN 함량이 나타났다. 이는 명태를 5°C, 10°C, 15°C, 그리고 20°C에서 각각 저장하였을 때, 저장온도가 높을수록 VBN 값이 급속도로 증가하였고(Shim et al., 2010), 고등어를 -1°C, -5°C, 그리고 -20°C에서 저장하였을 때, 저장온도와 비례하여 VBN 함량이 증가한다는 선행연구와 일치하는 결과이다(Joo et al., 2016). 냉장 시료는 생선의 심한 부패 상태를 나타내는 VBN 함량이 50 mg/100 g을 초과하였으므로, 부패가 많이 진행된 상태로 판단된다. 냉동 시료의 경우 저장기간에 따른 유의적인 경향을 보이지 않았다($p > 0.05$). 과냉각 시료의 경우 6일차까지 유의적인 변화를 보이지 않았으나($p > 0.05$), 9일차부터 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 저장 온도 간의 비교에서는 9일차 이후부터 냉장, 과냉각, 그리고 냉동 순으로 VBN 함량이 높게 측정되었다($p > 0.05$). Lee & Jang (2013)에 따르면 낮은 온도에서

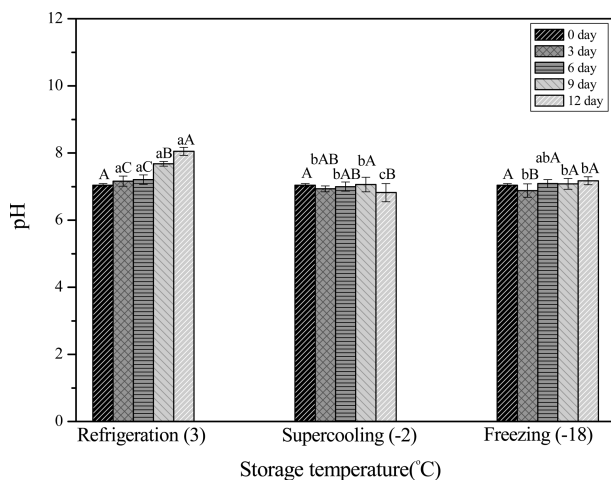


Fig. 5. pH of hairtail with different storage temperature and storage period. ^{a-c}Means with different letters within the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A-C}Means with different letters within the same storage temperature are significantly different ($p < 0.05$).

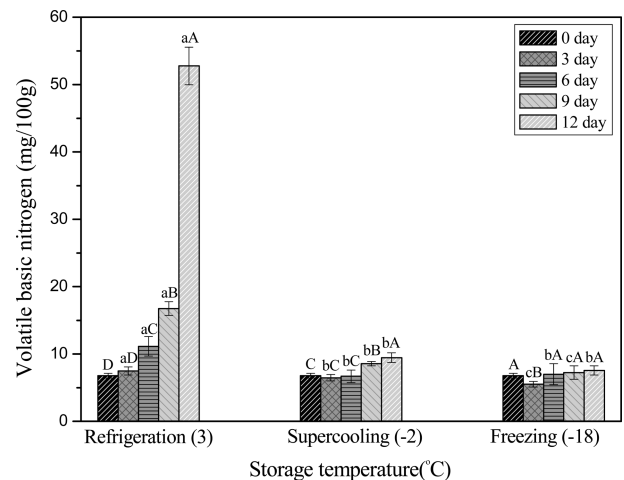


Fig. 6. Volatile basic nitrogen of hairtail with different storage temperature and storage period. ^{a-c}Means with different letters within the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A-D}Means with different letters within the same storage temperature are significantly different ($p < 0.05$).

의 저장은 VBN 화합물의 생성과 관련된 대사과정을 억제한다고 보고하였다. 따라서, 과냉각 및 냉동 처리로 갈치를 저장하였을 때, VBN 화합물의 생성이 냉장보다 낮은 것으로 생각된다.

트리메틸아민(TMA)

TMA는 생선에 함유된 trimethylamine oxide (TMAO)가 효소, 미생물 등에 의해 환원되어 TMA로 분해되면서 생선의 불쾌취를 생성하며, 수산물의 선도를 평가하는 지표로써 사용된다(Serena et al., 2006; Yu et al., 2019). Marrakchi et al. (1990)에 따르면, TMA 함량에 따른 생선의 신선도는 1 mg/100 g 이하면 매우 신선, 1-3 mg/100 g이면, 신선, 3-5 mg/100 g이면 보통의 선도로 평가하고 있다. 저장기간과 온도 조건을 다르게 처리한 갈치의 TMA 함량은 Fig. 7에 나타내었다. 신선한 갈치의 TMA 함량은 1.62 mg/100 g으로 측정되었다. 냉장 시료의 경우 저장 기간에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였고 ($p<0.05$), VBN 함량의 경향과 유사하게 9일차 저장 이후부터 급격하게 증가하여 12일차에는 29.50 mg/100 g으로 측정되었다. 이는 저장기간에 따라 효소 및 미생물로 인해 단백질이 분해되어 VBN이 생성되고, TMA, 암모니아 등이 VBN에 포함되기 때문에(Lapa-Gumarars et al., 2011), VBN 결과와 유사한 경향이 측정된 것으로 판단된다. 냉동 시료의 경우, 12일차에서 2.29 mg/100 g으로 갈치 원물과 비교하여 유의적으로 증가하였으나($p<0.05$), 저장 기간에 따른 차이는 보이지 않았다. 과냉각 시료의 경우 3일차와 9일차에서 각각 1.92 mg/100 g과 2.37 mg/100 g으로 증가하는 유의적인 차이를 보였다($p<0.05$). 최종 저장일을 기준으로 과냉각 및 냉동 시료의 경우, 각각

2.60 mg/100 g, 2.29 mg/100 g으로 신선한 상태의 TMA 함량에 포함되었고, 이는 저장기간과 저장온도가 높을수록 TMA 함량이 증가하였다는 선행 연구 결과와 반증되는 결과이다(Shim et al., 2010). 따라서, 과냉각 및 냉동 처리는 냉장 처리보다 TMA로의 환원이 적게 일어난 것으로 판단된다.

일반세균수

어류의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 어류의 표면에 부착된 일반세균수로 알려져 있다(Byun et al., 2003). 식품공전에 따르면 수산물에 대한 기준규격으로 용기·포장에 넣은 냉동·어패류의 총 호기성균수를 5 log CFU/mL로 규정하고 있다(MFDS, 2021). 다양한 저장온도 및 저장 기간에 따른 갈치의 일반세균수는 Fig. 8에 나타냈다. 신선한 갈치의 일반세균수는 2.45 log CFU/mL으로 측정되었다. 모든 처리구에서 저장기간에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였고($p<0.05$), 최종 저장일을 기준으로 냉장 시료가 가장 높았고, 냉동 시료가 가장 낮았다. 이는 drip loss의 경향과 유사하게 나타났다. 온도가 낮을수록 단백질 변성이 지연되어 유출되는 drip의 양이 적은데(Xu et al., 2018), 이는 drip에 포함된 수용성 단백질이 미생물의 영양원으로 사용되기 때문에 저장 온도에 따라 일반세균수의 차이가 발생한 것으로 사료된다(Akhtar et al., 2013). 냉장 시료의 경우 12일차 저장 시료에서 일반세균수가 6.01 log CFU/mL으로 측정되어, 식품공전에서 규정하는 수산물의 기준규격을 초과하는 것으로 나타났다. 냉동과 과냉각 시료의 경우 저장기간에 따라 일반세균수가 유의적으로 증가하는 경향을 보였다($p<0.05$). 냉동과 과냉각 시료 모두 12일 저장 기간동안 식품공전상의 수산물에 대한 기준규격을 초과하

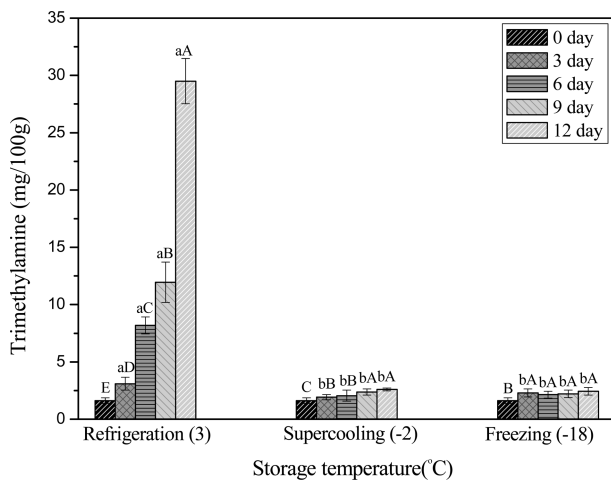


Fig 7. Trimethylamine of hairtail with different storage temperature and storage period. ^{a-b}Means with different letters within the same storage period are significantly different ($p<0.05$). ^{A-E}Means with different letters within the same storage temperature are significantly different ($p<0.05$).

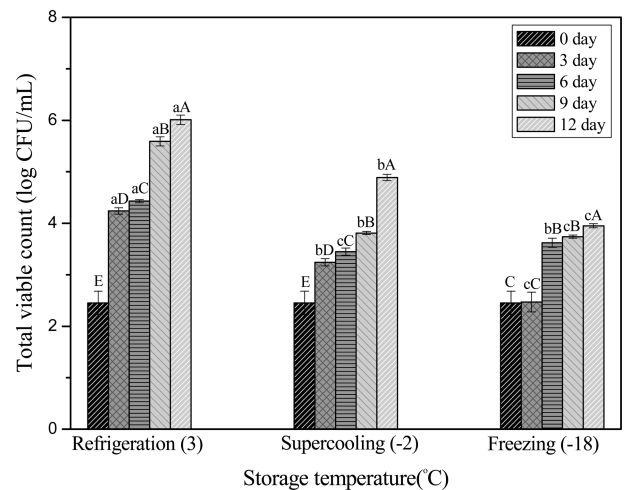


Fig 8. Total viable count of hairtail with different storage temperature and storage period. ^{a-c}Means with different letters within the same storage period are significantly different ($p<0.05$). ^{A-E}Means with different letters within the same storage temperature are significantly different ($p<0.05$).

지 않았다.

요 약

본 연구는 얼음결정체의 형성을 막고자 step-cooling 알고리즘을 적용하여 갈치를 과냉각 저장하였다. 저장의 신선도 유지효과를 확인하기 위해 냉장 및 냉동 저장된 갈치와의 신선도 비교평가를 실시하였다. 과냉각 저장은 냉장 저장과 비교하였을 때, 일반세균수와 단백질 부패로 인해 그 함량이 증가되는 VBN, TMA 값에서 비교적 작은 값을 보여 품질 유지에 효과를 나타내었다. 또한, 냉동 저장과 비교하였을 때, pH, VBN 및 TMA에서는 저장이 종료된 12일을 기준으로 차이를 크게 나타내지 않았다. 일반세균수에서는 9일차까지 비슷한 값을 유지하였으며, 12일차에서는 과냉각 시료가 높은 값을 보였다. 이를 통해, 과냉각 저장이 미생물 성장을 최소화하고 단백질 부패를 지연시키는데 효과가 있다고 사료된다. 장기저장에서는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보였으나, 단기저장 관점에서는 냉장 저장보다 과냉각 저장이 갈치의 품질을 유지하는데 많은 장점을 가질 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 엘지전자(주)의 지원에 의해 이루어진 결과이며 이에 감사드립니다.

References

- Akhtar S, Khan MI, Faiz F. 2013. Effect of thawing on frozen meat quality: a comprehensive review. *PAK. J. Food Sci.* 23: 198-211.
- Bing L, Sun DW. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. *J. Food Eng.* 54: 175-182.
- Byun SB, Lee SH, Lee SH, Lee YW, Sun NK, Song KB. 2003. Effect of storage temperature on the microbiological and pH changes of Mackerel, Croaker, and Saury during storage. *Korean J. Food Preserv.* 10: 154-157.
- Chen YL, Pan BS. 1997. Morphological changes in tilapia muscle following freezing by airblast and liquid nitrogen methods. *Int. J. Food Sci. Technol.* 32: 159-168.
- Choi EJ, Park HW, Chung YB, Kim JS, Park SH, Chun HY. 2017. Effect of supercooling on the storage stability of rapidly frozen-thawed pork loins. *Korean J. Food Preserv.* 24: 168-180.
- Choi YS, Park BY, Lee SK, Kim IS, Kim BC. 2002. Composition and physico-chemical properties of vacuum packaged Korean pork loins for export during cold storage. *Food Sci. Anim. Resour.* 22: 151-157.
- Dalvi-Isfahan M, Hamdami N, Xanthkis E, Le-Bail A. 2017. Review on the control of ice nucleation by ultrasound waves, electric and magnetic fields. *J. Food Eng.* 195: 222-234.
- Durmus M. 2019. Fish oil for human health: omega-3 fatty acid profiles of marine seafood species. *Food Sci. Technol.* 39: 454-461.
- Fukuma Y, Yamane A, Itoh T, Tsukamasa Y, Ando M. 2012. Application of supercooling to long-term storage of fish meat. *Food Sci. Technol.* 78: 451-461.
- Hong GP, Choi MJ. 2016. Comparison of the quality characteristics of abalone processed by high-pressure sub-zero temperature and pressure-shift freezing. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 33: 19-25.
- Hong GP, Park SH, JO YJ, Chun JY, Choi MJ. 2018. Food freezing technology. Soohaksa, Seoul, Korea, p. 59-62.
- Jo DM, Park SK, Khan F, Kang MG, Lee JH, Kim YM. 2021. An approach to extend the shelf life of ribbonfish fillet using lactic acid bacteria cell-free culture supernatant. *Food Control* 123: 107731.
- Joo SY, Park JA, Hwang HJ, Kim SJ, Choi JI, Cho MS. 2016. Effects of freezing-storage temperature on the shelf life of mackerel fish. *Korean J. Food Sci. Technol.* 48: 536-541.
- Kaale LD, Eikevik TM, Rustad T, Nordtvedt TS. 2014. Changes in water holding capacity and drip loss of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle during superchilled storage. *Food Sci. Technol.* 55: 528-535.
- Kang GH, Lee JS, Lee SY, Kim HT, Ko EY, Choi MJ. 2021. Tenderization and quality evaluation of Japanese spanish mackerel with W/O/W double emulsion encapsulated bromelain. *Food Eng. Prog.* 25: 8-17.
- Kobayashi R, Kimizuka N, Watanabe M, Suzuki T. 2015. The effect of supercooling on ice structure in tuna meat observed by using X-ray computed tomography. *J. Int. Acad. Refrig.* 60: 270-277.
- Korea Statistics. Korean statistical information service. Available from: <https://kosis.kr/search/search.do>. Accessed Aug. 1. 2021.
- Kuda T, Matsumoto C. 2002. Changes in acid and alkaline phosphatase activities during the spoilage of raw muscle from horse mackerel *Trachurus japonicus* and gurnard *Lepidotrigla micropptera*. *Food Chem.* 76: 443-447.
- Lapa-Guimaraes J, Trattner S, Pickova J. 2011. Effect of processing on amine formation and the lipid profile of cod (*Gadus morhua*) roe. *Food Chem.* 129: 716-723.
- Lee SY. 2020. Feasible strategies to improve freshness and wholesomeness of pork loin during extended storage. Ph.D. thesis, Konkuk Univ., Seoul, Korea.
- Luan L, Fu S, Yuan CH, Ishimaru GS, Chen SG, Chen JC, Hu YQ. 2017. Combined effect of superchilling and tea polyphenols on the preservation quality of hairtail (*Trichiurus haumela*). *Int. J. Food Prop.* 20: 992-1001.
- Marrakchi AE, Bennour M, Bouchriti N, Hamama A, Tachfait H. 1990. Sensory chemical, and microbiological assessments of moroccan sardines (*Sardina pilchardus*) stored in ice. *J. Food Prot.* 53: 600-605.
- Mills A. 1975. Measuring changes that occur during frozen storage of fish: a review. *J. Food Technol.* 10: 483-496.
- Ministry of Food and Drug Safety. Korean Food Code. Available from: <https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/index.jsp>. Accessed Aug. 1. 2021.
- Özkan M, Kicra A, Cemeroglu B. 2003. Effect of moisture content on CIE color values in dried apricots. *Eur. Food Res. Technol.* 216: 217-219.

- Özogul Y, Özyurt G, Özugol F, Kuley E, Polat A. 2005. Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. *Food chem.* 92: 745-751.
- Park JA, Joo SY, Hwang HJ, Na YS, Kim SJ, Choi JI, Ha JY, Cho MS. 2016. Effects of freezing storage temperature on the storage stability of beef. *Korean J. Food Sci. Technol.* 48: 301-305.
- Park JW, Kim JS, Park SH, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Han GJ. 2016. Estimating the freezing and supercooling points of Korean agricultural products from experimental and quality characteristics. *Korean J. Food Preserv.* 23: 438-444
- Semedo W, Dong S, Jin W, Yang Y, Han K, Zha F, Zhao Y, Zeng M. 2018. Effect of different cooking conditions on the profiles of Maillard reaction products and nutrient composition of hairtail (*Trichiurus lepturus*) fillets. *Int. Food Res. J.* 103: 390-397.
- Serena TC, Michael WYY, Wong YC, Timothy W, Mok CS, Della WMS. 2006. Evaluation of chemical indicators for monitoring freshness of food and determination of volatile amines in fish by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Eur. Food Res. Technol.* 224: 67-74.
- Shim SD, Kim DU, An SR, Lee DS, Kim SB, Hong KW, Lee YB, Lee SJ. 2010. Using modeling to predict Alaskan Pollack quality during storage. *Kor. J. Fish Aquat. Sci.* 43: 195-204.
- Sivertsvik M, Jeksrud WK, Rosnes JT. 2002. A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products – significance of microbial growth, activities and safety. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37: 107-127.
- Song HN, Lee DG, Han SW, Yoon HK, 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.
- Wang T, Sveinsdottir K, Magnusson H, Martinsdottir E. 2007. Combined application of modified atmosphere packaging and superchilled storage to extend the shelf life of fresh cod *Gadus morhua* loins. *J Food Sci.* 73: 11-19.
- Xu Y, Li T, Zhang C, Li X, Yi S, Li J, Sun X. 2018. Protein degradation of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) muscle after postmortem superchilled and refrigerated storage. *Int. J. Food Prop.* 21: 1911-1922.
- Yang SJ, Choi S, Kim JK. 2018. Superchilling and packaging technology for high-quality perishable food distribution: a review. *Korean J. Packag. Sci. Tech.* 24: 159-165.
- Yang SJ, Kim MY, Kim JK. 2019. A study on super-chilling distribution methods for fresh sea foods by various storage temperatures and packaging techniques. *Korean J. Logist.* 27: 47-56.
- Yu JW, Kim HJ, Seol DE, Ko JY, Kim SH, Yang JY, Lee YB. 2019. Evaluation of largehead hairtail *Trichiurus lepturus* freshness using sensory and chemical analyses. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 52: 735-739.
- Yun YC, Ramachandriah K, Hong GP. 2021. Effect of precooling conditions on the ice nucleation temperature and freezing characteristics of semisolid matrices. *J. Food Eng.* 291: 110232.

Author Information

김종진: 건국대학교 축산식품생명공학과, 석사과정

박동현: 건국대학교 축산식품생명공학과, 박사과정

김은정: LG전자 H&A사업본부 키친어플라이언스연구소, 책임연구원

최미정: 건국대학교 축산식품생명공학과, 교수