

Research Note

액체 침지식 냉동 기술 적용에 따른 식품의 품질 특성 평가

유재각 · 박혜정 · 엄경화 · 정원대*
삼성웰스토리 R&D센터 식품연구소

The Quality Characteristics of Foods by Applying Liquid Immersion Freezing Technology

Jae Gak Yu, Hyejung Park, Kyoung Hwa Um, and Won Dae Chung*

Food R&D Institute, Research & Development, SAMSUNG WELSTORY INC.

Abstract

This study investigated the quality characteristics of 5 different types of food (beef tenderloin, Japanese Spanish mackerel, radish, blueberry and tofu) by applying liquid immersion freezing, which is one of the quick-freezing methods. Each sample was refrigerated by -20°C conventional freezing or -70°C liquid immersion freezing respectively. After thawing at 4°C , we examined drip loss, color value, hardness, and volatile basic nitrogen. The drip loss of -70°C freezing condition was significantly reduced compared to -20°C freezing condition in every sample except Japanese Spanish mackerel. There were less changes in color values of beef tenderloin, Japanese Spanish mackerel, radish in -70°C condition than conventional freezing. The hardness of beef tenderloin, tofu was decreased and that of radish, blueberry was increased at -70°C freezing in comparison to -20°C freezing. By applying -70°C freezing on beef tenderloin, we also found more decreasing tendency of volatile basic nitrogen compared to -20°C freezing. In conclusion, the quality of general frozen foods, such as beef tenderloin, Japanese Spanish mackerel and blueberry, could be improved. The possibility of developing frozen tofu is also discovered by the application of liquid immersion freezing. These results could be meaningful as baseline data for researching and development of high-quality frozen foods.

Key words: Liquid immersion freezing, Quality characteristics, Frozen foods, Quick-freezing

서 론

냉동기술은 식품의 저장성을 향상시키고 부패를 방지하면서 식품의 조직감, 색, 맛 등 품질을 일정수준으로 유지 가능하게 하는 기술로 다양한 식품산업 전반에 이용되고 있다(Kim et al., 2016; Lee et al., 2013). 국내 냉동식품 시장 규모는 2017년에 9,023억원으로 2013년 대비 43.1% 증가했으며 세계 시장 규모는 2017년 기준 약 845억 달러를 기록했고 꾸준히 증가할 것으로 전망되고 있다(aTFIS 식품산업통계정보, 2018). 이러한 추세는 간편식의 수요증대와 1인가구 및 맞벌이 가구의 증가로 인한 것으로 보이며, 이에 발맞추어 최근에 국내외 식품기업에서는 고품질의 프리미엄 냉동식품 개발에 초점을 기울이고 있다(aTFIS

식품산업통계정보, 2018).

냉동과정에서 식품의 품질을 결정하는 가장 중요한 요인은 얼음결정이 생성되는 것을 최소화하는 것으로 CODEX (2008)에 따르면 급속동결공정을 최대 얼음결정 생성 온도 범위를 가능한 빠르게 지나가게 하는 방법으로 수행되는 공정이라고 정의하고 있다. 일반적인 냉동과정에서 식품 내에 존재하는 수분은 얼음결정을 생성하면서 부피가 팽창하고 이로 인해서 세포막이나 세포벽이 파괴된다(Celli et al., 2016; Mazur, 1984; Yamada et al., 2002). 이러한 현상으로 인해 냉동된 제품을 해동과정에서 다량의 수분이 유출되면서 식품의 조직감 변화를 유발하고 향미 성분, 색 성분, 영양 성분이 소실되어 식품 품질에 있어 바람직하지 못한 결과를 초래한다(Celli et al., 2016; Rahman and Velez-Ruiz, 2007; Zhu et al., 2019). 이러한 문제점을 해결하기 위해서 다양한 냉동방법이 개발되었으며 그 중 액체 침지식 냉동법은 액체의 열전도율이 기체보다 높은 원리를 이용한 냉동법 중 하나로 액체가 표면에 접촉하면서 빠르게 열교환이 이루어지기 때문에 급속으로 냉동이 가능하다고(Rahman and Velez-Ruiz, 2007). Choi et al. (2016a)에 따

*Corresponding author: Won Dae Chung, Food R&D Institute, Research & Development, SAMSUNG WELSTORY INC., Gyeonggi-do 16908, Republic of Korea

Tel: +82-31-5171-1400; Fax: +82-31-288-0811

E-mail: wondaec.chung@samsung.com

Received November 7, 2019; revised January 8, 2020; accepted January 20, 2020

르면 동일한 온도 조건이라도 -70°C 액체 침지식 냉동법과 -70°C 공냉식 냉동법을 비교하였을 때 액체 침지식 냉동법 적용 시 냉동 시간과 냉동 속도가 각각 7배이상 빠른 것을 확인 할 수 있다. 냉동 속도가 빠를수록 식품 내 생성되는 얼음 결정의 크기가 작아지고 식품의 품질 저하를 최소화하여 고품질 제품을 제조 할 수 있다(Anzaldúa-Morales et al., 1999; Kennedy, 1998; Kono et al., 2017). 액체 침지식 냉동법을 이용하면 동일 부피 공간에서 7배 빠르게 냉동 식품 제조가 가능하기 때문에 동일 온도의 초저온 공냉식 냉동법 대비 상업화에 적합한 기술이며 빠른 냉동 속도로 보다 이상적인 냉동 제품을 제조가 가능할 것으로 보여지고 프리미엄 고품질의 냉동 제품을 제조하는데 적합한 기술이라고 생각한다(Choi et al., 2016a).

지금까지 국내에서는 액체 침지식 냉동법을 이용하여 단일 품목(한우육, 계육 가슴살, 편마늘, 절단 대파, 절단 데침 무, 전처리 냉이, 전처리 고구마 줄기)에 대한 품질 변화 연구를 진행하였다(Choi et al., 2016a; Choi et al., 2016b; Chun et al., 2016; Kim et al., 2016; Kim et al., 2017; Park et al., 2018; Shin et al., 2016). 그러나 축산물, 수산물, 농산물, 가공식품군을 품목별로 평가하여 적합도를 분석한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 축산물, 수산물, 농산물, 가공식품군에서 5가지 품목을 선별하여 각 품목별 액체 침지식 냉동에 따른 품질 특성 변화를 일반적인 냉동법인 -20°C 공냉식 냉동법과 비교를 통해 알아보고 이를 통해 액체 침지식 냉동법을 이용한 고품질 냉동식품 개발을 위한 기초 자료로 활용하는데 목적을 두고 있다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에서 사용한 우육안심(Australia), 삼치(Korea), 무(Korea), 블루베리(USA), 두부(Pulmuone, Seoul, Korea)는 국내 대형마트에서 샘플 규격에 맞는 제품을 구입하여 실험에 사용하였다. 우육안심은 $10\text{ cm} \times 9\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 에 중량 150 g 내외의 안심을 선별하여 사용하였고, 삼치의 경우 머리, 꼬리, 가시를 제거한 손질 삼치에서 $18\text{ cm} \times 9\text{ cm} \times 1.5\text{ cm}$ 에 중량 100 g 내외를 선별하여 사용하였다. 무의 경우 두께가 4 cm 되도록 절단 후 가로, 세로가 각각 12 cm 이며, 중량이 370 g 에 준하는 샘플을 사용하였다. 블루베리는 50 g 씩 소분하였고, 두부는 기성제품에서 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 와 중량 300 g 의 제품을 선별하여 사용하였다. 식품용 진공 포장백(Vacuum Sealer Bag, AOSTAR Co. Ltd, Seoul, Korea)에 개별적으로 밀봉 포장하여 실험에 사용하였다.

냉동 및 해동방법

본 실험에서 포장이 완료된 시료를 일반 냉동법과 액체

침지식 냉동법으로 나누어 동결을 진행하였다. 일반 냉동법의 경우 -20°C 냉동고(CRFD-1762, Samsung Electronics Co. Ltd, Suwon, Korea)를 이용하였고 7일동안 보관하였다. 액체 침지식 냉동법의 경우 초저온 냉동고(MDF-U74V, SANYO Electric Co. Ltd, Osaka, Japan)에 ethanol이 들어 있는 스테인레스 용기를 넣고 ethanol의 온도가 -70°C 가 되도록 하여 실험을 진행하였다(Choi et al., 2016a; Chun et al., 2016). 각 시료를 -70°C ethanol에 침지후 30 min에서 1 h 동안 냉동을 진행한 뒤 -20°C 냉동고에서 7일동안 보관하였다. 냉동 보관한 샘플은 4°C 냉장고(CRFD-1762, Samsung Electronics Co. Ltd, Suwon, Korea)에서 24-48 h 동안 해동한 후 실험에 이용하였다.

해동 손실률

각 시료의 해동 손실률은 냉동 전 시료의 무게에 해동이 완료된 시료의 무게의 차이를 통해 냉동 후 해동과정에서 손실된 시료의 양을 구하고 이를 냉동 전 시료의 무게에 대한 백분율(%)로 산출하였다. 모든 결과값은 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

색도 측정

색도 측정의 경우 분광식 색차계(CS-660, CHN Spec, Hangzhou, China)를 이용하여 L^* , a^* , b^* 값을 측정하였고, 표준값으로 백색판($L^*=89.10$, $a^*=-1.52$, $b^*=1.48$)을 이용하였다. 모든 결과값은 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

경도 측정

경도(hardness) 측정의 경우 Texture Analyzer (TA.XTplus, Stable Micro Systems, Surrey, UK)를 사용하였으며, 동일 제조사의 지름 10 mm 의 원형 probe (P/10 10 mm ϕ cylinder probe)를 이용하였다. 경도 측정을 위한 샘플은 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 0\text{ mm}$ 로 절단하여 경도 측정을 실시하였으며, 시료의 절단에는 전용 절단기구(SP/TB Twin blade sample preparation tool, Stable Micro Systems, Surrey, UK)를 사용하였다. 경도 측정 조건으로 test mode는 compression, pre-test speed는 1.00 mm/sec , test speed는 2.00 mm/sec , post-test speed는 10.00 mm/sec 로 하였고, target mode는 strain 70%, trigger force는 5.0 g 로 설정하여 경도를 측정하였다. 모든 결과값은 5회 반복하여 평균과 표준편차 값을 산출하여 표기하였다. 샘플 중 우육안심과 삼치의 경우 원물 자체의 품질 특성 평가를 위하여 비가열상태에서 경도 측정을 진행하였다.

휘발성 염기질소 측정

휘발성 염기질소 측정법은 식품공전에 고시된 미량확산(Conway)법을 이용하였다(Ministry of Food and Drug

Safety, 2019). 시료 10 g을 믹서기로 곱게 갈아 준비하고 증류수 50 mL과 잘 섞어 진탕기(EYELA MMV-1000W, Tokyo Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan)에서 30분간 추출하였다. 추출액은 여과지(Whatman No. 1, GE Healthcare Life Sciences, Marlborough, MA, USA)를 통해 여과하여 시험 용액으로 사용하였다. 확산기 덮개에는 기밀제를 먼저 골고루 발라놓은 뒤 확산기 외실 오른쪽에 시험용액 1 mL을 넣어주고 내실에 0.01 N H₂SO₄ 1 mL을 넣어주었다. 외실 내의 용액이 섞이지 않도록 외실 왼쪽에 K₂CO₃ 포화 용액을 넣어주고 덮개를 닫아주었다. 외실 용액이 서로 반응하도록 조심스럽게 기울여가며 섞어준 뒤 배양기(IB-25G, Jeiotech, Daejeon, Korea)에 넣고 25°C에서 1 h 반응시켰다. 덮개를 연 뒤 내실 용액에 Brunswik 시액(0.066% methyl red + 0.033% methylene blue in EtOH) 10 µL를 넣고 0.01 N NaOH로 적정하였다. 공시험은 시험용액 대신 증류수로 진행하였으며 이를 통해 휘발성 염기질소를 측정하였다. 모든 결과값은 3회 반복하여 평균과 표준편차로 나타내었다.

통계처리

Minitab (18 version, Minitab Inc., State College, PA, USA)을 이용하여 일원분산분석(Analysis of Variance; ANOVA)을 수행하였으며, 다중비교분석법인 Fisher test를 이용하여 $p < 0.05$ 의 수준에서 각 시료간 통계적 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

해동 손실률

식품은 냉·해동 과정에서 세포가 손상되어 수분이 유출되고 동시에 조직감, 색, 향, 영양 성분 등의 변화를 일으키기 때문에 해동 손실률은 식품 품질 평가에 있어서 중요한 지표이다(Celli et al., 2016; Rahman and Velez-Ruiz, 2007; Zhu et al., 2019). 해동 손실률은 5종의 시료를 각각 일반 -20°C 일반 냉동과 -70°C 액체 침지식 냉동 후 4°C 냉장 해동하여 해동 손실률을 측정 계산하였다(Table 1). 우육안심의 경우 -20°C에서 냉동하였을 때 16.8±6.2%로 나타났으며, -70°C에서 액체 침지식 냉동하였을 때 1.7±0.7%로 -20°C 냉동대비 해동 손실률이 현저하게 감소하였다. Chun et al. (2016)의 한우 설도 부위 냉동 실험에서는 -20°C 일반 냉동, -70°C 액체 침지식 냉동에서 각각 4.02±0.2%, 2.59±0.1%의 해동 손실을 보였고, 본 연구 결과에서 해동 손실률이 높게 측정되었지만 유사한 경향성을 나타냈으며, Diamante and Tran (2016)의 우육 양지머리 해동 손실 결과에 따르면 -15°C 일반 냉동 시 16.78%의 해동 손실 결과를 통해 이는 우육 부위별에 따른 해동 손실률 차이로 고려된다. 무의 해동 손실률은 -20°C 냉동,

Table 1. Drip loss of 5 types of samples with different freezing methods

Sample	Freezing methods	Drip loss (%)
Beef tenderloin	-20°C conventional freezing	16.8±6.2 ¹⁾
	-70°C liquid immersion freezing	1.7±0.7*
Japanese Spanish mackerel	-20°C conventional freezing	3.6±2.8
	-70°C liquid immersion freezing	1.0±0.6
Radish	-20°C conventional freezing	8.6±1.0
	-70°C liquid immersion freezing	6.7±0.5*
Blueberry	-20°C conventional freezing	5.6±2.2
	-70°C liquid immersion freezing	0.9±0.3*
Tofu	-20°C conventional freezing	37.7±0.9
	-70°C liquid immersion freezing	14.2±1.2*

¹⁾ Each value is mean±SD

* Mean values are significantly different between freezing methods at $p < 0.05$

-70°C 냉동에서 각각 8.6±1.0%, 6.7±0.5%로 나타났으며, 블루베리의 경우 5.6±2.2%, 0.9±0.3%로 나타났고 두부의 경우 각각 37.7±0.9%, 14.2±1.2%의 해동 손실률을 확인하였다. 무와 블루베리의 경우 -70°C 냉동 시 -20°C 냉동 대비 외피 손상이 억제에 따른 수분 유출이 줄어들어 해동 손실률이 감소된 것으로 보이며, 이러한 경향은 블루베리에서 더 두드러지게 나타났다. 수분을 다량 함유한 두부의 경우, -20°C 냉동에서 두부 표면에 다량의 구멍이 존재하였으나 -70°C 냉동에서는 대조군과 유사한 표면 상태를 유지하였으며 이는 해동 손실률의 감소로 확인할 수 있었고 Xu et al. (2016)의 두부를 냉해동 시 표면 구조 변화로 수분함량이 현저하게 감소한다는 연구와 유사한 결과를 도출하였다. 우육안심, 무, 블루베리, 두부에서는 모두 -70°C 냉동에서 해동 손실률이 -20°C 냉동대비 유의적으로 감소하였다. 삼치의 경우 해동 손실률 감소 경향성을 보이긴 하지만 유의적인 차이는 보이지 않았다. 종합적으로 모든 시료에서 액체 침지식 냉동 적용시 일반 냉동 대비 해동 손실률이 감소하는 경향을 보였으며, 특히 우육안심, 블루베리, 두부에서 효과적인 해동 손실률 감소가 나타났다. 절단 데침 무와 전처리 고구마 줄기 연구에서 액체 침지식 냉동 적용시 해동 손실률이 50~56% 정도 감소하는 연구 결과가 있고 이는 본 연구 결과와 유사한 경향성을 보인다(Choi et al., 2016b; Park et al., 2018). 이는 액체 침지식 냉동의 빠른 냉동 속도로 인해 냉동 과정에서 생기는 얼음 결정에 의한 세포 손상이 저하되어 유출되는 수분이 감소된 것으로 추측한다.

색도

식품의 색은 화학적, 물리적 변화에 의해서 좌우되며 식품의 품질을 결정하는 중요한 요소이다(Pathare et al.,

2013). 냉동 조건에 따른 우육안심, 삼치, 무, 블루베리, 두부의 색도 변화는 Table 2에 나타났다. 얼리지 않은 우육안심 control의 색도는 L^* , a^* , b^* 값이 각각 43.52 ± 0.70 , 17.66 ± 1.22 , 16.91 ± 0.30 으로 측정됐고 냉동과 비교하였을 때 -20°C 냉동에서는 a^* 값은 7.56 ± 0.71 , b^* 값은 11.67 ± 0.23 으로 control대비 유의적으로 감소됨을 확인하였다. -70°C 냉동에서 a^* 값과 b^* 값은 각각 14.32 ± 0.42 과 16.55 ± 0.15 로 모두 -20°C 냉동 대비 현저하게 증가하여 control에 가까운 수치를 보였다. 육류의 색을 결정하는 중요한 인자로 myoglobin이라는 단백질이 있고 산소와 결합시 oxomyoglobin은 선적색을 띠나 냉·해동 과정 중 산화로 metmyoglobin이 되면 변색되어 암갈색을 띤다(Abdallah et al., 1999; Cho et al., 2011). -70°C 에서 급속 냉동된 우육안심의 myoglobin이 -20°C 냉동에서 냉동된 것보다 산화가 적게 일어나 control에 가까운 redness와 yellowness 값을 나타내는 것으로 추측한다. 삼치의 경우 control, -20°C 냉동, -70°C 냉동에서 L^* 값은 각각 82.80 ± 3.15 , 60.29 ± 2.80 , 83.19 ± 2.56 이고 a^* 값은 각각 -1.37 ± 0.39 , 1.05 ± 0.39 , -1.01 ± 0.24 으로 나타났으며 -20°C 냉동에서는 lightness와 redness 값의 유의적인 변화가 나타났지만 -70°C 냉동에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 어류의 근육에서도 myoglobin 산화로 인해 변색이 일어나며, 이로 인해 삼치의 -20°C 냉동에서 변색이 일어난 것으로 보인다(Sohn et al., 2006). 무에서는 냉동 시 모두 L^* , a^* , b^* 값이 유의적으로 감소하였으며, 이 감소 경향은 -20°C 냉동한 경우에서 더 크게 나타났다. 무는 절단 과정

에서 phenolic substrate와 효소가 반응하여 효소적 갈변이 일어나게 되는데 이로 인해 변색이 일어났고, 빠른 냉동 속도로 효소 반응이 빠르게 정지되는 -70°C 냉동에서 변색이 덜 일어난 것으로 보인다(Aguila JS et al., 2008). 두부의 경우 -20°C 냉동 시 lightness가 감소하였고, -70°C 냉동 시에는 yellowness가 증가하는 것을 확인하였고 이러한 경향은 -20°C 냉동 시 표면에 생긴 구멍으로 인해 명도가 감소한것으로 보인다. 블루베리의 경우 모든 조건에서 L^* , a^* , b^* 값의 차이가 존재하지 않았으며, 이는 블루베리의 색을 결정하는 anthocyanin은 고온 상태에서는 불안정하지만 냉동 보관시 안정성이 유지되어 색도 변화가 일어나지 않았다고 보여진다(Aguila et al., 2008; Lohachoopol et al., 2004). 따라서 우육안심, 삼치, 무에 액체 침지식 냉동을 적용하였을 때 일반 냉동 대비 시료의 변색이 감소되는 결과를 얻었고, 블루베리는 일반 냉동과 액체 침지식 냉동에서 모두 색도의 변화가 없었다.

경도

조직감(texture)는 식품 품질의 중요한 요소 중 하나로써 식품 구조의 변화로 다른 조직감을 나타내고 이는 소비자에게 있어 다른 기호도로 나타날 수 있다(Wilkinson et al., 2000). 조직감 요소 중 하나인 경도(hardness)를 냉동 조건에 따라 5종 시료에 대해서 측정하였다(Table 3). 우육안심의 경우 control, -20°C , -70°C 에서 각각 $80.6 \pm 30.2 \text{ kN/m}^2$, $352.6 \pm 155.9 \text{ kN/m}^2$, $225.4 \pm 40.3 \text{ kN/m}^2$ 으로 냉동할 경우 경도가 증가하는 현상이 나타났으며 이러한 현상은 -20°C 냉동에서 더 크게 나타났다. Suh et al. (2017)에 따르면 우

Table 2. Color values of 5 types of samples with different freezing methods

Sample	Freezing methods	Color value		
		L^* (lightness)	a^* (redness)	b^* (yellowness)
Beef tenderloin	Control ¹⁾	$43.52 \pm 0.70^{b2)}$	17.66 ± 1.22^a	16.91 ± 0.30^a
	-20°C	42.00 ± 0.99^b	7.56 ± 0.71^c	11.67 ± 0.23^b
	-70°C	46.35 ± 0.76^a	14.32 ± 0.42^b	16.55 ± 0.15^a
Japanese Spanish mackerel	Control	82.80 ± 3.15^a	-1.37 ± 0.39^b	1.30 ± 1.99^a
	-20°C	60.29 ± 2.80^b	1.05 ± 0.39^b	0.94 ± 0.63^a
	-70°C	83.19 ± 2.56^a	-1.01 ± 0.24^a	0.31 ± 0.52^a
Radish	Control	69.08 ± 1.21^a	-0.86 ± 0.08^a	3.71 ± 0.19^a
	-20°C	38.97 ± 1.86^c	-2.10 ± 0.26^c	-0.15 ± 0.56^c
	-70°C	48.64 ± 1.04^b	-1.61 ± 0.23^b	2.27 ± 1.02^b
Blueberry	Control	29.20 ± 2.01^a	1.60 ± 0.13^a	-3.87 ± 0.84^a
	-20°C	27.35 ± 0.59^a	1.84 ± 0.92^a	-3.34 ± 0.19^a
	-70°C	27.19 ± 0.13^a	1.56 ± 0.13^a	-3.71 ± 0.33^a
Tofu	Control	85.23 ± 0.43^a	0.86 ± 0.08^a	13.26 ± 0.08^b
	-20°C	78.55 ± 1.94^c	0.71 ± 0.16^a	13.05 ± 0.34^b
	-70°C	82.83 ± 0.21^b	0.72 ± 0.07^a	15.36 ± 0.18^a

¹⁾ Unfrozen raw materials

²⁾ Each value is mean \pm SD

^{a-c} Mean values with the same letter in each sample are not significantly different at $p < 0.05$

Table 3. Hardness of 5 types of samples with different freezing methods

Sample	Freezing methods	Hardness (kN/m^2)
Beef tenderloin	Control ¹⁾	$80.6 \pm 30.2^{b2)}$
	-20°C	352.6 ± 155.9^a
	-70°C	225.4 ± 40.3^a
Japanese Spanish mackerel	Control	38.2 ± 6.6^e
	-20°C	41.9 ± 6.8^e
	-70°C	41.8 ± 6.2^e
Radish	Control	$1,095.0 \pm 51.8^a$
	-20°C	681.2 ± 92.3^b
	-70°C	$1,040.3 \pm 71.2^a$
Blueberry	Control	181.3 ± 24.1^a
	-20°C	47.3 ± 24.6^c
	-70°C	110.5 ± 37.0^b
Tofu	Control	31.2 ± 4.4^c
	-20°C	83.8 ± 16.8^a
	-70°C	66.2 ± 3.7^b

¹⁾ Unfrozen raw materials

²⁾ Each value is mean \pm SD

^{a-c} Mean values with the same letter in each sample are not significantly different at $p < 0.05$.

육 등심을 -18°C 에서 냉동하였 때 control 대비 경도가 감소하는 경향을 보였고 이 결과는 본 연구와 상반되는 결과이다. 이는 우육 부위 차이에 의한 결과로 추측하고 육류 부위 별 냉동 조건에 따른 조직감 변화에 대한 연구가 추후 필요할 것으로 사료된다. 두부의 경우 control, -20°C , -70°C 에서 각각 $31.2\pm 4.4\text{ kN/m}^2$, $83.8\pm 16.8\text{ kN/m}^2$, $66.2\pm 3.7\text{ kN/m}^2$ 로 나타났으며 이는 우육안심과 비슷한 경향을 나타낸다. 냉·해동 과정에서 두부에 존재하는 수분은 손실되고 단백질이 서로 응집하면서(Xu et al., 2016) 경도가 증가하고 상대적으로 수분 손실이 적은 -70°C 냉동에서 낮은 경도를 나타내는 것으로 사료된다. 블루베리의 경우 control, -20°C , -70°C 에서 각각 $181.3\pm 24.1\text{ kN/m}^2$, $47.3\pm 24.6\text{ kN/m}^2$, $110.5\pm 37.0\text{ kN/m}^2$ 로 나타났다. -20°C 냉동에서 경도가 74% 감소하였으며 이는 냉동에 의한 세포벽이 손상되어 경도가 감소하였고 블루베리의 외피 손상은 시각적으로도 확인이 가능한 수준이었다. -70°C 에서는 이러한 현상이 두드러지게 적었으며 -20°C 냉동 대비 경도 수치가 2.6 배 증가하였다. 무의 경우는 -20°C 냉동에서 control 대비 유의적으로 감소하였고 -70°C 냉동에서는 control 수준의 경도를 유지하였으며 블루베리와 마찬가지로 냉동에 의한 세포벽 손상에 의한 결과로 보여진다. 삼치의 경우 모든 조건에서 비슷한 경도를 나타냈다. 삼치를 제외한 모든 시료에서 액체 침지식 냉동법을 적용하였을 때 일반 냉동보다 경도 값이 control에 가까웠으며 이를 통해 액체 침지식 냉동에서 조직감 변화가 적은 것을 확인하였다.

휘발성 염기질소

휘발성 염기질소(Volatile basic nitrogen, VBN)는 식육류와 어패류의 신선도를 나타내는 지표로 식육에서의 법적 기준은 20 mg% 이하이다(Kim et al., 2013; Ministry of Food and Drug Safety, 2019). 또한, *Pseudomonas* spp.와 같은 식품을 부패시키는 미생물 성장과 관련이 있다(Zhang QQ et al., 2012). 우육안심의 경우 control, -20°C 냉동, -70°C 냉동에서 각각 VBN값이 $4.7\pm 2.0\text{ mg}\%$, $16.3\pm 7.3\text{ mg}\%$, $11.7\pm 5.3\text{ mg}\%$ 로 측정되었으며 이를 통해 -20°C 냉동에서는

Table 4. Volatile basic nitrogen values of beef tenderloin and Japanese Spanish mackerel with different freezing methods

Sample	Freezing methods	VBN (mg%)
Beef tenderloin	Control ¹⁾	$4.7\pm 2.0^{\text{b2)}$
	-20°C	$16.3\pm 7.3^{\text{a}}$
	-70°C	$11.7\pm 5.3^{\text{ab}}$
Japanese Spanish mackerel	Control	$9.3\pm 2.0^{\text{a}}$
	-20°C	$8.2\pm 2.0^{\text{a}}$
	-70°C	$5.8\pm 2.0^{\text{a}}$

¹⁾ Unfrozen raw materials

²⁾ Each value is mean \pm SD

^{a-b} Mean values with the same letter in each sample are not significantly different at $p<0.05$

VBN값이 유의적으로 증가하고 -70°C 냉동에서는 -20°C 냉동 대비 감소하는 경향을 확인하였다. 이는 냉동 과정에서 미생물이 성장하여 우육안심의 부패를 유발했으며, -70°C 냉동에서는 -20°C 냉동 대비 미생물 성장이 억제되었음을 알 수 있다. 비교적 삼치에서는 모든 조건에서 VBN값이 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 삼치의 손질과정에서 세척이 이루어져 초기 세균수가 낮아 VBN값의 증가를 유발시키는 미생물의 성장이 충분하지 않았다고 추측된다. 결과적으로 우육안심에서 유의적인 차이는 발생했으나 모두 법적 기준 이하로 측정되었다.

요 약

본 연구는 급속냉동기술 중 하나인 액체 침지식 냉동법의 적용에 따른 품질 특성 변화를 알아보기 위하여 우육안심, 삼치, 무, 블루베리, 두부 총 5종의 시료에서 냉동 조건 따른 품질 특성 변화를 연구하였다. 각 샘플을 밀봉 포장하여 -20°C 일반 냉동 조건과 -70°C 액체 침지식 냉동 조건에서 실험을 수행하였고, 4°C 냉장해동 후 품질을 분석하였다. 해동 손실률을 측정된 결과 삼치를 제외한 4종에서 액체 침지식 냉동 시 해동 손실률이 일반 냉동 대비 유의적으로 감소하였다. 색도의 경우 우육안심, 삼치, 무에 액체 침지식 냉동을 적용하였을 때 일반 냉동 대비 색도 변화가 감소되는 결과를 얻었다. 경도의 경우 우육안심, 두부를 일반 냉동하였을 때 control 대비 경도가 증가하였으며, 액체 침지식 냉동에서는 일반 냉동 대비 감소하였다. 무, 블루베리의 경도는 일반 냉동 시 감소하였고, 액체 침지식 냉동에서는 일반 냉동보다 증가하였다. 또한, 우육안심에서 액체 침지식 냉동법을 이용하였을 때 일반 냉동 대비 휘발성 염기질소값이 감소하였다. 따라서 액체 침지식 냉동법 적용을 통해서 기존 냉동 유통되는 우육안심, 삼치, 블루베리의 더욱 향상된 냉동 품질 개선을 관찰하였고 현재 냉장으로만 유통되는 두부의 경우 액체 침지식 냉동을 통해 냉동 제품화 가능성을 확인하였다. 현재 저단가 두부에서는 냉동제품에 대한 상업성은 낮으나, 향후 프리미엄 두부 제품 적용 시 유용할 것으로 기대된다. 또한, 이 연구 결과를 바탕으로 액체 침지식 냉동에 적합한 품목과 조건에 대한 심층적인 연구를 진행한다면 고품질의 냉동식품 생산에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Abdallah MB, Marchello JA, Ahmad HA. 1999. Effect of freezing and microbial growth on myoglobin derivatives of beef. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4093-4099.
- Aguila JS, Sasaki FF, Heiffig LS, Ortega EMM, Trevisan MJ, Kluge RA. 2008. Effect of antioxidants in fresh cut radishes during the cold storage. *Braz. arch. biol. technol.* 51: 1217-1223.

- Anzaldúa-Morales A, Brusewitz G, Anderson, J. 1999. Pecan texture as affected by freezing rates, storage temperature, and thawing rates. *J. Food Sci.* 64: 332-335.
- aTFIS 식품산업통계정보. 2018. 2018 가공식품 세분시장 현황 - 냉동식품 시장. 한국농수산식품유통공사.
- Celli GB, Ghanem A, Brooks MS. 2016. Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Rev. Int.* 32: 280-304.
- Cho SH, Seong PN, Kang GH, Park BY, J SG, Kang SM, Kim YC, Kim JI, Kim DH. 2011. Meat quality and nutritional properties of hanwoo and imported Australian beef. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 31: 772-781.
- Choi EJ, Chung YB, Kim JS, Chun HH. 2016a. Effects of freezing and thawing treatments on natural microflora, inoculated *Listeria monocytogenes* and *Campylobacter jejuni* on chicken Breast. *J. Food Hyg. Saf.* 31: 42-50.
- Choi HJ, Lee SY, Lee JS, Kim SJ, Seo JH, Lee JG, Kimg HY, Shin HR, Cho SK, Shin MJ, Choi MJ. 2016b. Effect of packaging, freezing, and thawing methods on the quality properties of sweet potato stem. *Food Eng. Prog.* 20: 111-119.
- Chun HH, Choi EJ, Han AR, Chung YB, Kim JS, Park SH. 2016. Changes in quality of hanwoo bottom round under different freezing and thawing conditions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 45: 230-238.
- CODEX. 2008. Code of practice for the processing and handling of quick frozen foods. CAC/RCP 8-1976.
- Diamante LM, Tran NTM. 2016. Effects of meat shape and size, freezing method and thawing temperature on the drip loss of beef brisket and the protein content of its thaw exudates. *J. Food Chem. Nanotechnol.* 2: 14-20.
- Kennedy CJ. 1998. Formation of ice in frozen foods and its control by physical stimuli. In: *The properties of water in foods* ISOPOW 6. Reid DS (eds). Springer, Boston, MA, USA, p.329
- Kim HA, Kim BC, Kim YK. 2013. Quality characteristics of the sausages added with pepper seed powder and pepper seed oil. *Korean J. Food Cookery Sci.* 29: 283-289.
- Kim SY, Kim HS, Kim JS, Han GJ. 2016. Changes in quality of welsh onion (*Allium fistulosum* L.) during the freezing storage period under different freezing conditions. *Korean J. Food Cook Sci.* 32: 665-676.
- Kim SY, Kim HS, Kim JS, Han GJ. 2017. Changes in quality characteristics of sliced garlic with different freezing conditions during storage. *Korean J. Food Preserv.* 24: 746-757.
- Kono S, Kon M, Araki T, Sagara Y. 2017. Effects of relationships among freezing rate, ice crystal size and color on surface color of frozen salmon fillet. *J. Food Eng.* 214: 158-165.
- Lee HO, Lee YJ, Kim JY, Kwon KH, Kim BS. 2013. Changes in the quality of frozen vegetables during storage. *Korean J. Food Preserv.* 20: 296-303.
- Lohachoompol V, Srzednicki G, Craske J. 2004. The change of total anthocyanins in blueberries and their antioxidant effect after drying and freezing. *J. Biomed Biotechnol.* 5: 248-252.
- Mazur P. 1984. Freezing of living cells: Mechanisms and implications. *Am. J. Physiol.* 247: C125-142.
- Ministry of Food and Drug Safety. 2019. Korea Food Code No. 2019-31. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp. Accessed Oct. 11. 2019.
- Park JH, Park JJ, Park BR, Han GJ, Kim HY. 2018. The effect of freezing and thawing conditions on the quality characteristic of blanched radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Eng. Prog.* 22: 67-74.
- Pathare PB, Opara UL, Al-said FA. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food Bioprocess Tech.* 6: 36-60.
- Rahman MS, Velez-Ruiz JF. 2007. Food preservation by freezing. In: *Handbook of food preservation*, second edition. CRC Press. Boca Raton, FL, USA, pp 635-665.
- Shin HR, Park JH, Lee SY, Park BR, Han GJ, Choi, MJ, Kim HY. 2016. The difference of the quality characteristics of shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris*) with the pre-treatment, freezing and thawing methods. *Food Eng. Prog.* 20: 269-277.
- Sohn JH, Taki Y, Ushio H, Kohata T, Shioya I, Ohshima T. 2006. Lipid oxidations in ordinary and dark muscles of fish: Influences on rancid off-odor development and color darkening of yellowtail flesh during ice storage. *J. Food Sci.* 70: 490-496.
- Suh S, Kim YE, Shin D, Ko S. 2017. Effect of frozen-storage period on quality of American sirloin and mackerel (*Scomber japonicus*). *Food Sci. Biotechnol.* 26: 1077-1084.
- Wilkinson C, Dijksterhuis GB, Minekus M. 2000. From food structure to texture. *Trends. Food Sci. Tech.* 11: 442-450.
- Xu Y, Tao Y, Shivkumar S. 2016. Effect of freeze-thaw treatment on the structure and texture of soft and firm tofu. *J. Food Eng.* 190: 116-122.
- Yamada T, Kuroda K, Jitsuyama Y, Takezawa D, Arakawa K, Fujikawa S. 2002. Roles of the plasma membrane and the cell wall in the responses of plant cells to freezing. *Planta.* 215: 770-778
- Zhang QQ, H YQ, Cao JX, Xu XL, Zhou GH, Zhang WY. 2012. The spoilage of air-packaged broiler meat during storage at normal and fluctuating storage temperatures. *Poult Sci.* 9: 208-214.
- Zhu Z, Zhou Q, Sun DW. 2019. Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. *Trends Food Sci. Technol.* 90: 13-25.

Author Information

유재각: 삼성웰스토리 R&D센터 식품연구소, 프로
박혜정: 삼성웰스토리 R&D센터 식품연구소, 프로
엄경화: 삼성웰스토리 R&D센터 식품연구소, 프로
정원대: 삼성웰스토리 R&D센터 식품연구소, 팀장