

가정용 냉장고의 제상 주기와 온도 변화가 저장 식품의 품질에 미치는 영향

강길진 · 어중혁 · 김묘정 · 조광연* · 최영훈* · 정동선** · 국승욱*** · 박관화
서울대학교 식품공학과, 농업생물신소재연구센터
*(주)대우전자, **서울여자대학교 식품미생물공학과, ***(주)삼립G·F 기술연구소

Influence of Thermal Oscillation on Quality of Frozen Foods Stored in Domestic Refrigerator

Gil Jin Kang, Joong Hyuck Auh, Myo Jeong Kim, Kwang Yeun Cho*, Young Hoon Choi*,
Dong Sun Jung**, Seung Uk Kook*** and Kwan Hwa Park

Department of Food Science and Technology and Research Center for
New Bio-materials in Agriculture, Seoul National University
*Daewoo Electronic Co. Ltd.

**Department of Food and Microbial Technology, Seoul Woman's University
***R&D Center, Samlip G·F Co. Ltd.

Abstract

Effect of fluctuation range and intervals of defrosting temperature on quality of frozen foods stored in a domestic refrigerator equipped with an automatic defrost system was evaluated. As defrost system was operated, temperatures of domestic refrigerators were elevated from -18°C to -5°C and -15°C , and fluctuation intervals were 16 hrs and 30 hrs, respectively. Quality deterioration such as protein denaturation, vitamin loss, exudate production and changes in appearance of frozen foods was minimized by reducing temperature oscillation during storage. Considerable effects of thermal oscillation on ice crystal sizes were observed for frozen beef tissue and ice cream. TTI (time temperature indicator) system also proved that the temperature control of defrost system in domestic refrigerator can improve the quality of foods during storage.

Key words: defrosting interval, thermal oscillation, domestic refrigerator, frozen storage

서 론

냉동에 의한 식품의 저장은 일반적으로 -18°C 이하에서 식품을 동결, 저장함으로써 식품의 풍미, 색, 질감 및 영양가가 유지되는 효과적인 장기저장 방법으로 각종 야채류에서 육류에 이르기까지 다양한 식품에 적용되고 있으며, 국내에서도 육류, 가금류, 어류, 만두류, 떡류 등 냉동식품이 증가하고 있는 추세이다.

그러나 -18°C 부근의 온도에 저장한 냉동식품이라도 모든 성분이 완전히 동결되어 비활성 상태에 놓여 있는 것은 아니기 때문에 냉동 저장 중에도 품질 손상

이 일어날 수 있다. 예를 들면, 냉동 저장 중 얼음의 재결정화와 승화로 인한 조직의 파괴, 식품 표면의 건조 및 갈색 반점등이 나타나는 "freezer burn" 현상과 색소의 파괴, 비타민 손실(파괴), 단백질 변성, 지방의 산화, 해동 침출액의 증가 등의 물리화학적 변화가 있다⁽¹⁾.

냉동식품 품질손상의 주요 원인은 완만냉동이나 냉동식품의 수송시 온도 상승 또는 냉동과 해동의 반복등을 들 수 있다. 시판되는 동결식품의 생산, 유통, 관리 차원에서는 많은 연구가 이루어졌으나^(2,3) 가정용 냉장고내에서 저장 중에 일어나는 품질 변화 정도에 대해서는 보고된 것이 거의 없다. 가정용 냉장고는 현대인의 생활 방식의 변화에 따라 대형화되고, 냉동실의 이용도 또한 급증하고 있으며, 특히 일반 가정용 냉장고의 최근 모델은 자동 제상장치가 장착되어 주

Corresponding author: Kwan Hwa Park, Department of Food Science and Technology and Research Center for New Bio-materials in Agriculture, Seoul National University, Suwon, Kyonggi-do 441-744, Korea

기적으로 온도가 상승하고, 제상 주기가 잦아 냉동식품의 2차적인 품질변화 요인으로 대두되고 있어 이에 대한 연구의 필요성이 요구되고 있다.

제상에 따른 냉동실 내부 온도의 편차가 심할 경우 품질 손상이 유발되는 정도는 식품의 종류에 따라 다르나, 빵이나 아이스크림과 같이 조직이 부드럽고 미세한 식품에는 맛이나 상품가치에 결정적인 영향을 끼칠 수 있고, 가정에서 사용하다 남은 식품을 냉동하거나 또는 냉동상품 재포장시 적절히 포장되지 못하였을 때는 식품표면의 수분 증발로 인한 건조현상이 초래되고, 제상에 따른 온도상승으로 인해 부분 해동과 냉동이 주기적으로 반복되어 나타나는 등 각종 품질 저하가 예상된다.

따라서 본 연구에서는 제상 주기와 제상에 따른 온도 상승 정도를 달리한 가정용 냉동실에 저장 중인 육류, 생선, 빙과류의 품질변화를 비교함으로써 냉동실 온도의 편차와 제상 주기가 냉동식품의 품질에 미치는 영향을 조사하여 보다 효율적인 냉동 조건을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 실험에 사용된 쇠고기와 돼지고기는 시중의 정육점에서 냉장 또는 냉동 상태로 구입하였으며, 생선(도미)은 도살 직후의 것을 구입하여 사용하였다. 아이스크림(해태 데이트)과 키위(뉴질랜드산)도 시중에서 구입하였다.

저장 조건

냉장고는 냉동실의 내부 온도편차와 제상 주기가 다른 세 냉장고(A, B, C)를 사용하였다. 냉동실 온도의 기록은 냉동실 내부에 thermocouple을 연결하여 기록계(Konics Co. Ltd., Japan)로 측정하였다(Fig. 1). 각 냉장고의 평균온도, 제상시의 온도 및 제상 주기는 다음과 같다.

구분	A 냉장고	B 냉장고	C 냉장고
정상시 온도	-18±0.5°C	-18±1°C	-18±1°C
제상시 최고 온도	-15±1°C	-5±1°C	+2±1°C
제상 주기	30-40시간	20-15시간	10-15시간

A, B, C 냉장고의 냉동실에서 위의 조건으로 시료를 저장하면서 1-2주 간격으로 품질 변화를 조사하였다.

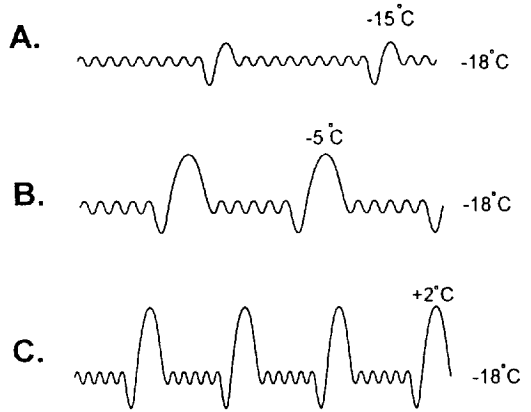


Fig. 1. Thermal oscillations of refrigerators during frozen storage

냉동식품의 단백질 변성

쇠고기의 단백질 변성은 homogenizer로 잘게 분쇄한 고기(minced beef)를 냉동저장하며 일정 기간별로 취하여 differential scanning calorimeter (DSC 120, Seiko Inc. Japan) pan에 20 mg을 담아 밀봉한 후 30-110°C까지 가열(5°C/min)하여 얻은 endotherm의 감소 정도로부터 단백질의 변성 정도를 측정하였다. 도미의 경우는 신선한 도미 근육을 DSC pan에 20 mg을 담아 밀봉한 다음 냉동실에 저장하면서 일정 기간별로 꺼내어 쇠고기와 같은 조건으로 측정하였다.

냉동식품의 색의 변화

냉동육의 색의 변화는 외관상 변화를 육안으로 확인하여 사진촬영을 하고, 일정 시점에서의 색도를 Chromameter (CR-200, Minolta Ltd., Japan)로 측정하여 Hunter L, a, b값으로 나타내었다.

해동 침출액 측정

돼지고기의 해동 침출액의 측정은 냉동 돼지고기를 해동시킨 후 2000 rpm에서 5분간 원심분리한 후 고형물의 중량차로부터 계산하여 %로 나타내었다⁴⁾.

냉동식품의 조직 변화

육류의 조직 변화는 조직내 얼음결정에 의해 형성된 공간을 관찰하는 간접적인 방법인 freeze-substitution method의 변법^{6,6)}을 이용하였다. Sample을 Carnoy 용액으로 고정시킨 후 Hematoxylin-eosin으로 염색하여 광학현미경(Type 104, Nikon, Japan)으로 조사하였으며, 비동결육의 조직을 동시에 처리하여 대조구로 하였다.

아이스크림의 조직 변화는 냉동실에 저장한 아이스크림을 동결건조시킨 다음 SEM (scanning electron microscope, Hitachi, Japan)으로 조직을 관찰하였다.

Vitamin C 정량

키위의 비타민 C는 Murata 등의 방법⁽⁷⁾에 따라 측정하였다. 마쇄한 키위를 원심분리하고 그 상징액에 대하여 같은 양의 10% TCA (Trichloroacetic acid)를 첨가한 후, 다시 원심분리하여 상징액을 시료로 사용하였다. 시료 2.0 ml에 42.5%의 인산액 0.3 ml, 0.8%의 α, α -dipyridyl 1.5 ml 그리고 3%의 염화 제2철 0.15 ml를 가하여 25°C에서 30분간 반응시켰다. 비타민 C 함량은 525 nm에서 흡광도를 측정하여 표준곡선으로부터 구하였다.

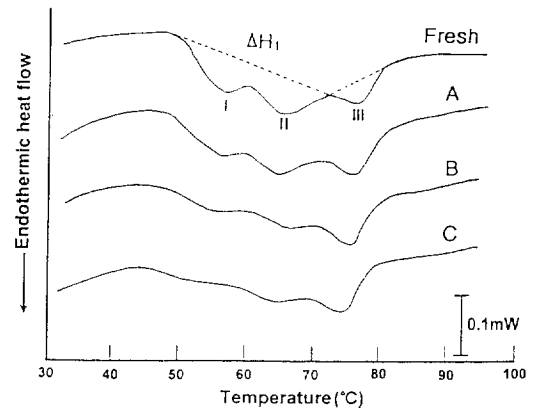
시간-온도 지시계(TTI)의 색 변화

TTI (time-temperature indicator)는 Yoon 등⁽⁸⁾이 개발한 것으로 냉동식품의 품질 저하를 소비자가 직접 육안으로 확인할 수 있도록 고안된 것을 사용하였다. TTI용액은 soya lecithin (3%, w/v)에 sodium deoxycholate를 기질안정제로 첨가한 용액에 antifreezing agent (glycerol+sorbitol)와 pH 지시약을 첨가하여 제조하고, 기질인 TTI용액에 phospholipase A₂ (porcine pancreas, Sigma, USA)를 사용하였다. 이것의 저장온도와 저장 시간 경과에 따른 색의 변화로부터 pH의 변화를 측정하였다.

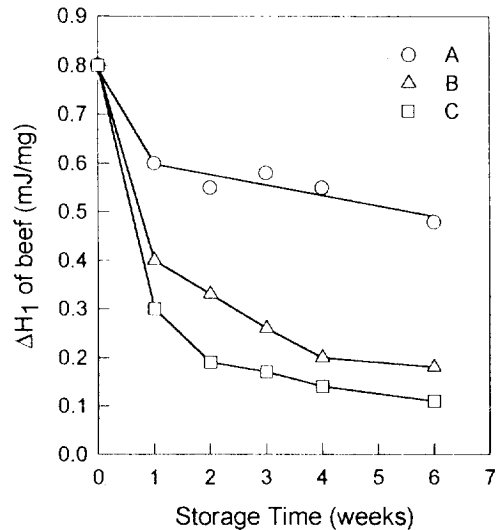
결과 및 고찰

냉동 식품의 단백질 변성

냉동육의 단백질 변성은 DSC를 이용하여 측정하였으며, DSC thermogram (Fig. 2(a))에서 peak I, II는 myosin 및 sarcoplasmic protein에 해당하는 부분이며, peak III는 actin의 흡열곡선을 나타낸다. 냉동전의 쇠고기는 세개의 peak가 뚜렷하게 나타났으나 저장 4주 후에는 peak I, II가 감소하여 그 엔탈피값이 큰 폭으로 감소한 반면 actin을 나타내는 peak III는 거의 변화가 일어나지 않았다. 이는 Paredi 등⁽⁹⁾과 Bertola 등⁽¹⁰⁾의 결과와 일치하는 것으로 쇠고기의 단백질 변성은 주로 myosin에서 일어나는 것임을 알 수 있었다. 쇠고기를 균질화한 후 냉동저장했을 때 myosin에 해당하는 ΔH_1 값은, A 냉장고의 경우 저장 1주일 후에 약 25% 감소하였으나, B, C 냉장고에서는 각각 50%, 62% 감소하였다. 또한 저장 4주 후에는 A 냉장고에서는 28%, B 냉장고 76%, C 냉장고는 82% 감소를 보여 냉



(a)

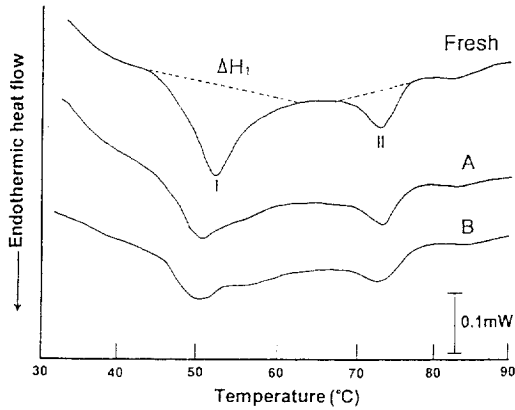


(b)

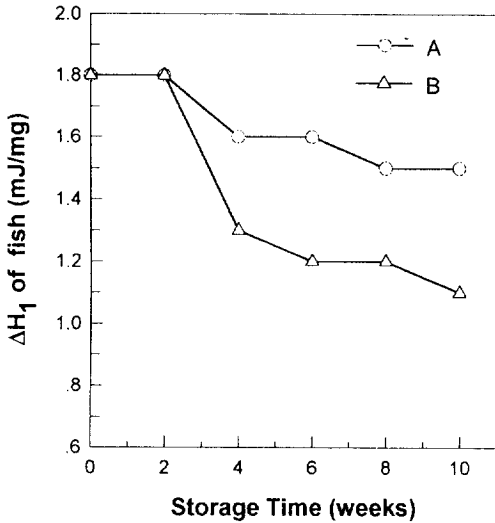
Fig. 2. (a) DSC thermograms of frozen beef stored for 4 weeks A, B and C means the stored refrigerators, respectively; I, myosin; II, sarcoplasmic protein; III, actin, (b) Denaturation of beef protein during frozen storage at different conditions A, B and C means the stored refrigerators, respectively

동온도의 변동폭이 적은 경우 단백질 변성이 현저하게 나타남을 알 수 있었다(Fig. 2(b)).

냉동저장 중 어류의 단백질 변성은 근장 단백질인 myosin에서 일어나는 것으로서, 어류의 근육내에 존재하는 trimethylamine oxide (TMAO)가 저장 중 trimethylamine과 formaldehyde로 분해되고, 이때 생성된 formaldehyde는 myosin과 가교를 형성하여 단백질 변성이 초래되는 것으로 알려져 있다⁽¹¹⁾. 냉동 도미의 단백질 변성 정도를 DSC로 측정한 결과(Fig. 3(a)), myo-



(a)



(b)

Fig. 3. (a) DSC thermograms of frozen fish stored for 4 weeks A and B means the stored refrigerators, respectively; I, myosin and sarcoplasmic protein; II, actin, (b) Denaturation of fish protein during frozen storage at different conditions A and B means the stored refrigerators, respectively

sin에 해당하는 ΔH_1 값이 A 냉장고의 경우 4주째부터 약간씩 감소하기 시작하였지만 10주째까지 큰 변화는 없었다. 그러나 B 냉장고에 저장한 것은 저장 4주째부터 그 엔탈피값이 큰 폭으로 감소하는 현상을 보여 (Fig. 3(b)), 저장온도의 편차와 제상주기가 냉동어육의 단백질 변성에 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다.

육즙 및 해동 침출액

육류의 수분은 대부분 근섬유내에 고정되어 있으나

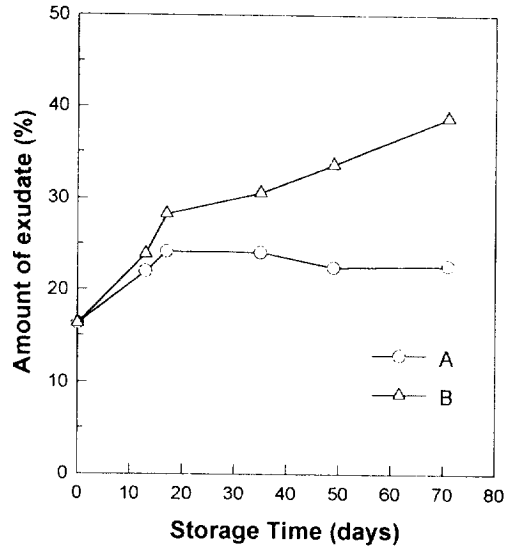


Fig. 4. Exudate production of frozen pork during storage at different conditions A and B means the stored refrigerators, respectively

냉동과 해동 등에 따라 근섬유 단백질 특히 myofibrillar protein의 변성과 조직의 파괴로 세포 밖으로 빠져 나오게 되면 육류의 보수력을 저하시켜, 육질이 질겨지는 것으로 알려져 있다. 뿐만 아니라 각종 무기질과 비타민 그리고 수용성 단백질 등의 영양분이 해동육의 침출액 및 육즙의 생성과 함께 손실된다. Miller 등⁽¹²⁾은 쇠고기와 돼지고기의 해동 침출액 중 고형물% 및 질소 함량이 저장 기간의 증가에 따라 증가하였으며, 침출액의 증가는 아미노산, peptides, proteins, vitamin 등의 영양가 손실을 초래하는 것으로 보고하였다. 육즙의 생성량은 저장 기간과 조건, 그리고 해동 방법 및 해동시간에 의해 영향을 받는 것이다. 저장 기간과 저장 조건에 따른 생성량을 비교하여 본 결과 (Fig. 4), A 냉동실에 저장한 돼지고기의 침출액은 저장 70일 이후까지 크게 증가하지 않은 반면, B 냉동실에 저장한 것은 저장 기간이 길어짐에 따라 침출액의 생성이 지속적으로 증가하여 저장 70일에는 초기 침출액의 2배 이상으로 증가함을 보여주어, 육즙의 생성은 제상 주기가 짧고 온도 편차가 심한 냉동실에서 더욱 촉진됨을 알 수 있었다.

냉동육의 육색 및 육질의 변화

고기의 품질은 소비자의 기호성면에서는 영양가치, 색깔, 맛과 향, 연화도, 다즙성 등으로 평가되며, 색에 의한 판정은 보편화되어 있다. 육류의 색은 근장 단백질

질인 myoglobin의 함량과 성질, 농도에 따라 다르나 일반적으로 쇠고기는 암적색(dark red), 돼지고기는 회홍색(grayish pink)을 띠고 있으며, 냉장 또는 냉동 중 갈색으로 되어 상품의 가치가 저하된다. 이러한 육류의 탈색 현상은 myoglobin이나 metmyoglobin이 변성 되었을 때 나타나는 현상으로 myoglobin의 porphyrin ring이 파괴되어 Fe이온이 없는 경우 bile pigment(노란색 또는 무색)를 형성하게 되는 것으로, 냉동속도와 냉동방법 및 저장기간 등에 의해 영향을 받는다⁽¹⁾.

냉동 중 온도변화가 육류 색의 변화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 돼지고기를 냉동 저장하면서 고기의 색을 육안과 색차계로 관찰하였다. 돼지고기는 시판 돈까스용으로 난개씩 개별 포장을 하여 냉동을 한 것으로 저장 11주까지도 A 냉장고에서는 붉은색을 유지한 반면 B 냉장고의 고기는 갈색화와 탈색 현상을 보여 주었고, 또한 육질의 표면이 심하게 건조되었음을 알 수 있었다(사진은 제시하지 않음).

냉동 돼지고기의 색 변화를 색차계로 측정된 결과는 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 Hunter L (lightness)값은 A 냉장고보다 B 냉장고가 더 높게 나타났는데 이는 B 냉장고의 고기가 탈색에 의해 명도가 증가한 때문으로 보여지며, 적색을 나타내는 a (redness)값은 A 냉장고의 것이 높아 적색이 유지되고 있음을 나타내었고, b (yellowness)값은 A, B 모두 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 이와 같은 변화는 냉동육류의 myoglobin의 산화는 저장온도의 변화가 심할수록 촉진되며, 자동산화가 지속되면 met-

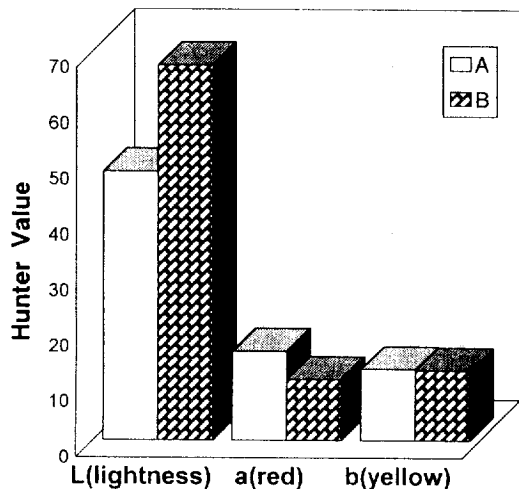


Fig. 5. Hunter values of frozen pork stored for 7 weeks at different conditions A and B means the stored refrigerators, respectively

myoglobin의 구조가 파괴되어 탈색현상이 초래될 수 있음을 나타낸다. 따라서 저장 중 제상 온도가 낮고 그 주기가 길어서 품온의 상승이 적을수록 냉동실의 저장 효과가 뛰어난을 알 수 있었다.

냉동식품의 조직 변화

식품의 냉동저장 중 온도의 상승/하강은 얼음결정의 용융과 재결정 과정의 반복으로 얼음결정의 크기가 증가하여, 조직을 손상시키므로 맛과 영양면에 크

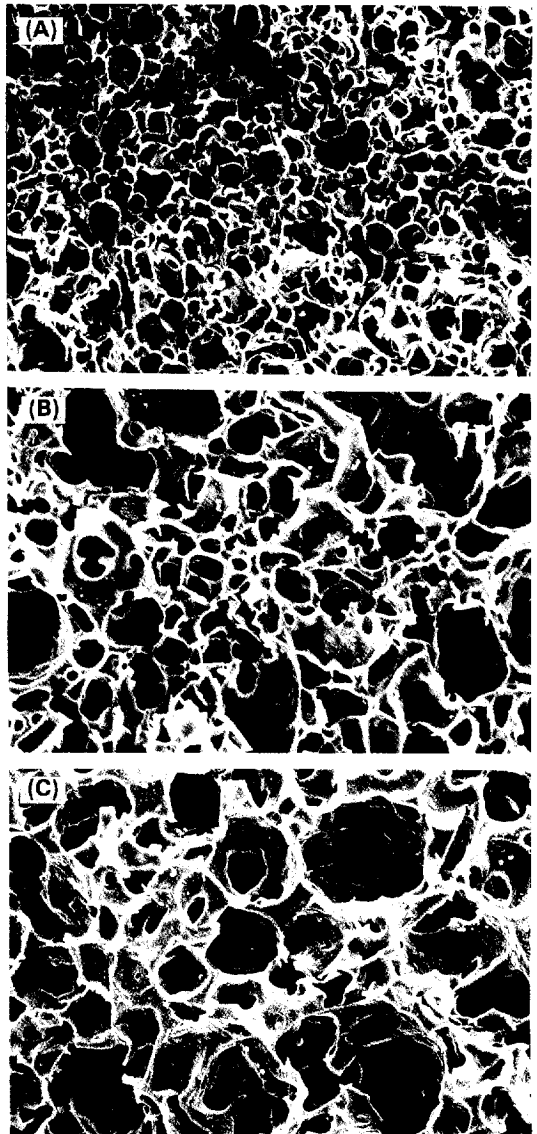


Fig. 6. Histological structures of ice cream after 25days (×150) A, B and C means the stored refrigerators, respectively

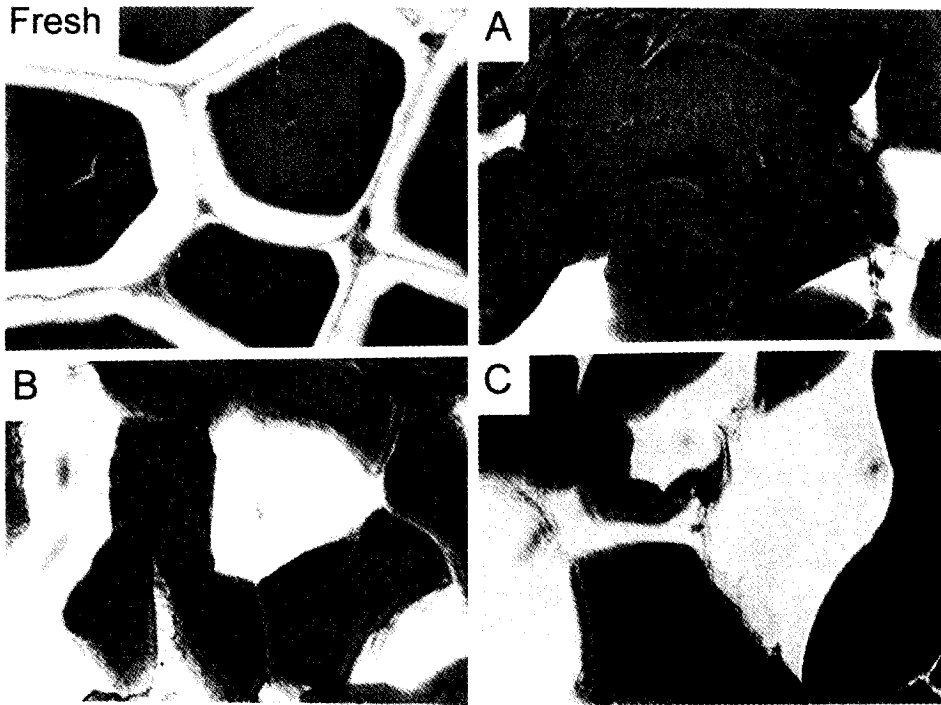


Fig. 7. Histological structures of frozen beef after 3 weeks (×400) A, A refrigerator; B, B refrigerator; C, C refrigerator

게 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 제상장치가 되어 있는 냉동실에서는 주기적인 온도의 상승과 하강으로 냉동 식품의 얼음 결정 중 크기가 작은 것은 온도의 상승에 따라 쉽게 녹았다가 온도의 하강으로 다시 어는 과정을 반복하여 얼음의 재결정화가 일어나게 된다. 냉동식품의 재결정화에 의해 커진 얼음 결정은 식품 조직의 세포를 손상시킬 수 있으며 또한 수분의 이동으로 인한 세포내 염류의 농축으로 단백질의 변성을 초래할 수 있다⁽⁴⁾. 특히 아이스크림의 얼음 결정 크기는 아이스크림의 텍스처와 깊은 관계가 있으며, 저장 중 얼음의 재결정화에 의하여 얼음 결정이 커지게 되면, 부드러운 맛이 감소되고 유당의 결정화로 sandiness 등의 현상이 초래되어 품질 저하가 일어난다⁽⁵⁾.

냉동실의 온도 변동에 따른 아이스크림의 품질 변화를 측정하기 위하여 온도 변화의 폭과 제상주기가 다른 냉동실에 25일간 저장한 아이스크림을 동결 건조시킨 후 SEM으로 각각의 조직을 비교 관찰하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 A 냉동실에 저장한 것에 비해 B, C 냉동실에 저장한 아이스크림의 얼음 결정이 훨씬 커졌음을 알 수 있었다. 아이스크림의 텍스처는 일반 식품보다 온도 변동폭과 변동 주기에 민감하므로 냉동실의 제상 주기와 제상시 온도 상승폭을 감소시킴으로써

저장 효율을 보다 높일 수 있으리라고 본다.

냉동 중인 육류의 품질을 평가하기 위하여 냉동 조직의 파괴 정도와 얼음 결정의 분포도, 그리고 세포의 구조를 광학현미경을 통해 관찰하였다. Fig. 7은 온도 편차가 다른 냉동실에 각각 3주씩 저장한 소고기의 조직을 광학 현미경으로 관찰한 것이다. A 냉장고의 경우 세포의 모양이 약간 파괴된 반면 B, C 냉장고의 경우는 세포모양이 A의 것보다 심하게 파괴되었고 얼음 결정이 큰 것을 관찰할 수 있었다.

비타민 C 함량 변화

냉동저장 중 품온 상승으로 인해 비타민 C가 감소한다는 것은 비타민 C 자체 영양소의 손실 뿐만 아니라 비타민 C에 의한 항산화 효과가 감소하여 식품의 품질 저하를 초래할 수 있다. 그러므로 과채류의 저장 시 비타민 C의 함량 변화는 그 품질 지표 중의 하나로 이용되기도 한다.

키위를 냉동 저장하면서 비타민 C의 감소량을 측정 한 결과는 Fig. 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 A 냉장고는 7주째, B 냉장고는 4주째, C 냉장고는 1주째 부터 감소하기 시작하였으며, 저장 10주째에 A 냉장고의 경우는 7%의 감소를 보인 반면, B 냉장고는 12%,

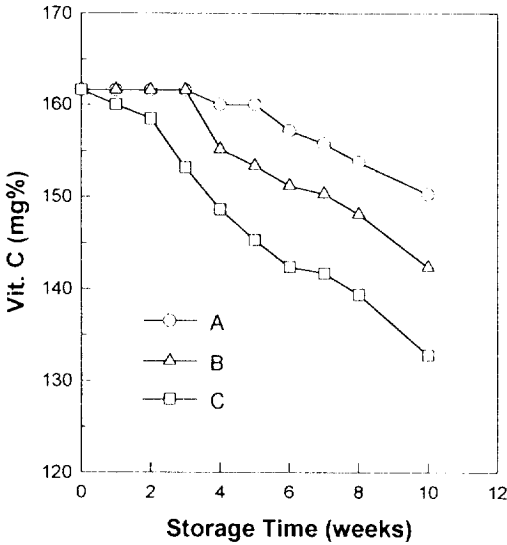


Fig. 8. Changes of vitamin C in kiwi pulp during frozen storage at different conditions A, B and C means the stored refrigerators, respectively

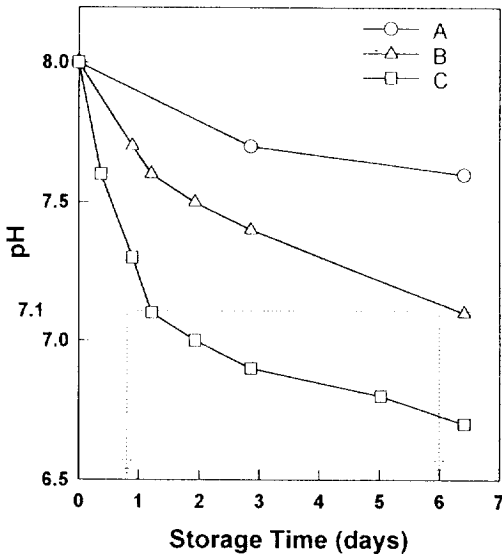


Fig. 9. pH changes of TTI during frozen storage at different conditions A, B and C means the stored refrigerators, respectively

C 냉장고는 18%의 감소를 보였다. 냉동 저장 중 비타민 C의 손실은 A 냉장고에 비하여 B 냉장고가, B 냉장고에 비하여 C 냉장고가 훨씬 큼을 알 수 있었다.

시간-온도 지시계(TTI)의 색 변화

본 실험에 사용한 TTI는 냉동식품의 저장 중 지방

의 산패로 생성된 지방산에 의해 식품의 pH가 저하되는 점을 이용한 것으로, pH의 변화에 따라 색이 변하여 식품내 지방의 산패 정도를 육안으로 감지할 수 있도록 고안된 것이다⁶⁾.

Fig. 9는 냉동저장 중 식품의 품질 변화 지시계인 TTI를 사용하여 온도 변동 정도가 다른 냉동실의 저장 효율을 비교하여 본 결과이다. pH 8.0의 TTI용액에 phospholipase A₂를 넣고 냉동실에 5일간 저장한 후 색의 변화를 관찰한 결과 A 냉장고는 pH 7.7 정도의 색을 나타낸 반면, B 냉장고에서는 pH 7.2 정도의 색을 그리고 C 냉장고에서는 pH 6.9에 해당하는 색을 보여 주었다. pH 7.1에 도달하는데 소요되는 시간은 C 냉장고의 경우 1.2일, B 냉장고에서는 6.4일인 반면, A 냉장고에서는 10일이 걸리는 것으로 나타났다. 따라서 제상 주기가 길고 온도 상승폭이 작을 때 지방의 산패 정도가 낮아 식품의 저장에 유리할 것으로 예측할 수 있었다.

요 약

가정용 냉장고의 제상 횟수와 제상에 따른 온도 상승이 냉동식품의 품질에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 육류, 생선, 과일 및 아이스크림을 냉동실에 저장하면서 품질변화를 측정하였다. 냉동실의 제상 주기가 16시간 정도이고, 제상시 온도는 -5℃로 상승하는 기존의 일반 냉장고와, 제상주기가 30시간 정도이고 제상시 온도는 -15℃로 조절되어 제조된 냉동실에서의 품질변화를 비교하였다. 냉동저장 중에 일어난 육류와 생선의 단백질 변성 정도와 육류의 생성을 및 육류의 색깔 변화 정도는, 제상 주기가 짧고 온도 상승폭이 보다 큰 기존의 냉동실에서 변화가 훨씬 심한 것으로 나타났다. 냉동저장 중 얼음의 재결정화로 인한 조직의 파괴 정도와 얼음 결정의 크기를 광학현미경과 전자현미경으로 각각 관찰한 결과, 온도 변동이 심할 경우 육류의 조직이 더욱 많이 파괴되었고, 아이스크림에서는 얼음 결정이 훨씬 커진 것을 알 수 있었다. 시간-온도 지시계에 의한 냉동실의 저장 효과를 비교한 결과 위에서 측정된 품질변화 속도와 잘 일치하였다. 따라서 냉동실의 제상 주기를 길게 하고 제상시 온도 상승폭을 줄인다면 가정용 냉장고에서 유발되는 냉동식품의 2차적인 품질 저하를 크게 감소시킬 수 있음을 알았다.

감사의 글

본 연구는 (주)대우전자와 서울대학교 농업생명연구소재연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

아울러 실험기기 사용에 협조를 아끼지 않은 서울대 수의과대학 조직 병리학실에 감사드립니다.

문 헌

1. Fennema, O.R., Karel, M. and Lund, D.B.: *Physical Principles of Food Preservation*. Marcel Dekker, Inc., N. Y., p.133 (1975)
2. 정진웅, 조진호, 임상동, 강통삼 : 빵가루 입힌 냉동새우의 동결저장 중 온도변동에 의한 품질변화. *한국식품과학회지*, **23**, 532 (1991)
3. Guadagni, D.G. and Nimmo, C.C.: Time-temperature tolerance of frozen foods. *Food Technology*, **12**, 306 (1958)
4. Gonzalez-Sanguinetti, S., Anon, M.C. and Calvelo, A.: Effect of thawing rate on the exudate production of frozen beef. *J. Food Sci.*, **50**, 697 (1985)
5. Bevilacqua, A., Zaritzky, N.E. and Calvelo, A.: Histological measurements of ice in frozen beef. *J. Food Technol.*, **14**, 237 (1979)
6. Martino, M.N. and Zaritzky, N.E.: Fixing conditions in the freeze substitution technique for light microscopy observation of beef tissue. *Food Microstructures*, **5**, 19 (1986)
7. Murata, A., Ishimatsu H., Uchi, Y., Kang, Y.C. and Kato, F.: Determination of vitamin C by the α,α' -dipyridyl method. *Bull. Fac. Agr. Saga Univ.*, **61**, 9 (1986)
8. Yoon, S.H., Lee, C.H., Kim, D.Y., Kim, J.W. and Park, K.H.: Development of a time-temperature indicator using phospholipase system and application to frozen pork. *J. Food Sci.*, **59**, 490 (1994)
9. Paredi, M.E., Tomas, M.C., Crupkin, M. and Anon, M. C.: Thermal denaturation of aulacomya ater (molina) myofibrillar proteins: A differential scanning calorimetric study. *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 876 (1994)
10. Bertola, N.C., Bevilacqua, A.E. and Zaritzky, N.E.: Heat treatment effect on texture changes and thermal denaturation of proteins in beef muscle. *J. Food Prot. Preserv.*, **18**, 31 (1994)
11. Ang, J.F. and Hultin, H.O.: Denaturation of cod myosin during freezing after modification with formaldehyde. *J. Food Sci.*, **54**, 814 (1989)
12. Miller, A.J., Ackerman, S.A. and Palumbo, S.A.: Effects of frozen storage on functionality of meat for processing. *J. Food Sci.*, **45**, 1466 (1980)
13. 양용, 양한철 : 축산식품가공학. 보성문화사, 서울 (1984)
14. Martino, M.N. and Zaritzky, N.E.: Ice crystal size modifications during frozen beef storage. *J. Food Sci.*, **53**, 1631 (1988)
15. Donhowe, D.P., Hartel, R.W. and Bradley, Jr. R.L.: Determination of ice crystal size distributions in frozen desserts. *J. Dairy Sci.*, **74**, 3334 (1991)

(1995년 10월 16일 접수)