KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 28, No. 4, pp. 632~637(1996)

냉장실의 온도 정온화가 냉장 식품의 품질과 미생물의 생육에 미치는 영향

정동선* · 권미라 · 어중혁 · 조광연** · 최영훈** · 국승욱*** · 박관화

서울대학교 식품공학과, 농업생물신소재연구센터
*서울여자대학교 식품미생물공학과, **(주)대우전자
***(주)삼립G · F 기술연구소

Effects of Temperature and Fluctuation Range on Microbial Growth and Quality of Foods Stored in Domestic Refrigerator

Dong Sun Jung*, Mee Ra Kweon, Joong Hyuck Auh, Kwang Yeun Cho**, Young Hoon Choi**, Seung Uk Kook*** and Kwan Hwa Park

Department of Food Science and Techology and Research Center for New Bio-materials in Agriculture, Seoul National University
**Department of Food and Microbial Technology, Seoul Woman's University*
***Daewoo Electronics Co. Ltd. and* ****R&D Center, Samlip G · F Co. Ltd.*

Abstract

Effects of refrigeration temperature and its fluctuation range on the growth of psychrotrophic microorganisms and the quality of refrigerated foods such as apple, fish and oyster were evaluated to find optimum storage conditions for a domestic refrigerator. Refrigeration temperature was 2°C or 4°C, and fluctuation ranges were varied: ±0.3, ±1.0, ±1.2, or ±4.0°C. Changes in hardness of apples stored at 2±0.3°C were much slower than those of apples stored at 4±1.2°C. Freshness of fish and oyster also lasted much longer at low temperature such as 2±0.3°C. The growth of *Listeria monocytogenes* inoculated on sliced ham was inhibited for 1 month at 2±0.3°C, but the cells at 4±1.2°C began to grows as time elapsed. Therefore, it was expected that shelf-life of certain food stored in a domestic refrigerator could be extended by lowering temperature to 2°C and by reducing fluctuation range of refrigerator.

Key words: *Listeria monocytogenes*, storage temperature, temperature fluctuation, domestic refrigerator

서 론

식품의 냉장은 0~15°C의 저온에서 식품을 저장함으로써 미생물의 생육이나 각종 화학반응 그리고 수분 증발 등이 억제되어 식품의 품질이 유지되는 단기저장법이라 할 수 있다. 그러나 냉장에 의해 식품의 품질이 완전히 유지될 수는 없으며 때로는 바람직하지 않은 식품내 성분의 변화가 유발될 수 있다. 냉장 중에 일어나는 식품의 품질 변화는 지질 산화, 색소 분해, 단백질 변성, 악취 생성, 비타민 파괴 등의 화학반응에 의한 품질 변화와 탈수 또는 마찰 등의 물리적 손상, 어류에서의 자가분해 그리고 미생물의 생육에 따른 식품의 부패 등을 들 수 있다[1]. 냉장이나 냉동에 의해 미생물의 생육은 상당히 억제되고 병원성 미생물은 3.3°C 이하에서는 성장할 수 없는 것으로 알려져 있으나, 저온성 세균은 냉장온도에서도 증식이 가능하다고 보고되고 있다. 특히 최근 구미 각국에서 문제가 되고 있는 식품성 병원균인 *Listeria monocytogenes*는 3°C 또는 그 이하의 냉장온도에서 생육이 가능하며[2], 1980년대에 구미 각국에서는 양배추 발효 식품인 coleslaw, 저온살균 우유, Jalisco cheese (맥시코식 soft cheese) 등의 냉장식품의 섭취로 인해 집단식중독인

Corresponding author: Kawn 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

Listeriosis를 일으켜 발병환자 중 약 30%가 사망하여[3] 미국의 FDA에서는 *L. monocytogenes*에 대해 식품 중 "zero tolerance"를 요구하기에 이르렀으며[4], 냉장식품의 안전성에 대한 관심이 고조되고 있다.

냉장 중에 일어나는 식품의 품질 변화에 영향을 미치는 인자는 주로 저장 시간과 온도인데 냉장온도가 높을 경우 뿐만 아니라 온도 변화가 심할 경우에도 품질저하가 일어난다. 일반적으로 가정용 냉장고의 온도는 4℃ 정도를 채택하고 있으나, 이것은 식품을 저장하는 동안 온도가 일정하게 유지되는 것이 아니라 온도의 상승, 강하가 반복되는 것의 평균 온도이다. 기존 냉장고의 온도 변동폭은 대략 ±1.0~1.2℃ 정도이므로 냉장실의 평균 온도를 보다 낮추고 온도의 편차도 줄여서 정온화를 기한다면 냉장식품의 품질 유지 증대효과와 저장 기간의 연장효과를 기할 수 있으리라 기대된다.

따라서 본 연구에서는 냉장온도가 4℃ 정도인 기존의 냉장고와 2℃ 정도로 낮게 조절하고 또한 온도의 편차를 각각 달리한 냉장고에 각종 식품을 보관하면서 식품의 품질변화 정도와 미생물의 생육 정도를 비교함으로써 효율적인 냉장 조건을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

냉장고 및 온도의 기록

냉장고는 냉장실 내부의 평균온도와 온도편차가 다른 냉장고(A1, A2, B, C)를 사용하였다. 온도의 기록은 thermo-couple을 냉장고 내부(위로부터 1/3 지점)에 연결한 뒤 기록계(Konics Co. Ltd., Japan)를 사용하여 실험기간동안 계속하여 내부온도를 측정하였다. 각 냉장고의 평균온도와 온도편차는 다음과 같다.

냉장고	평균온도 (℃)	온도편차 (℃)
A1	2	±0.3
A2	2	±1.0
B	4	±1.2
C	4	±4.0

실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 시중에서 구입하였으며, 어패류로는 도미(활어)와 생굴을, 사과는 홍옥, 우유는 서울우유 미노스, 햄은 롯데 슬라이스 스모크햄을 사용하였다. 각 시료들을 냉장고에 보관하면서 일정 기간별로 취하여 품질의 변화를 측정하였다.

도미의 단백질 변화

도미 근육의 단백질 변성 정도는 differential scanning calorimeter (DSC 120, Seiko Inc., Japan)를 이용하여 측정하였다. 저장 중인 도미를 일정 기간별로 취하여 homogenizer로 마쇄하여 DSC pan에 20 mg씩 담아 밀봉한 다음 30-110℃까지 5℃/min으로 가열하여 thermogram을 얻었다. 이때 나타난 endotherm의 감소 정도로부터 단백질의 변성도를 측정하였다. 저장 직전에 측정한 시료를 신선한 대조구로 간주하고, 저장 후 얻어진 값과 비교하여 온도에 따른 단백질의 변성 정도 및 속도를 관찰하였다.

사과의 경도 측정

사과의 경도(hardness) 변화는 rheometer (Sun Rheometer, Japan)를 이용하여 측정하였다. 시료는 사과의 육질 부분(핵부분 제외)을 3 cm×3 cm×1.5 cm 크기의 직육면체로 절단하여 사용하였으며, 직경 0.75 cm의 ball type probe를 사용하여, 0.85 cm의 탐침 깊이에서 측정하였다. 이때, 사과 조직의 파괴에 들어가는 최대의 힘(g)을 경도로 정하였다.

굴의 품질 변화

본 실험에 사용된 굴은 시중 백화점에서 구입하여 소금물로 행군 다음, 물기를 빼고 얼음에 채워 운반하였다. 시료는 20 g씩 멸균 봉지(Whirl-Pak Bag, Nasco)에 담아 각각의 냉장고에 보관하면서 일정 기간별로 생굴의 총균수와 pH 변화 정도를 측정하였다.

생굴의 총균수는 standard plate agar (Difco) 또는 Eugon agar (Difco) 배지에 시료 2 set를 접종한 후 1 set는 32℃에서 48시간 배양하고, 다른 1 set는 10℃에서 24시간 예비 배양한 뒤 32℃에서 48시간 배양하였고, 각각의 시료는 duplicate로 하였다. 균수는 colony counter를 사용하여 계수하였다.

pH는 시료에 동량의 증류수를 혼합하여 균질화시킨 다음 pH meter (Suntex SP 701)를 사용하여 측정하였다.

저온미생물의 생육

본 실험에 사용한 *Listeria monocytogenes* KFRI 220은 한국식품개발원에서 분양받아 brain heart infusion broth (BHI, Difco)를 사용하여 35℃에서 24시간 2회 계대배양하여 사용하였으며, 일반배지로는 BHI agar, 선택배지로는 Listeria McBride agar (Difco)에 0.6% yeast extract를 혼합하여 사용하였다. 균수의 측정은 생리식염수를 이용하여 단계별로 희석하여 pour plate method로 배지에 접종하여 35℃에서 48시간 배양한 후 형성된 colony 수를 계수하였다.

BHI 배지, 우유, 햄에서의 *Listeria monocytogenes*의 생육 측정

BHI broth와 멸균시킨 우유를 10 ml씩 시험관에 담아 초기 균수를 10^2-10^3 cfu/ml 정도로 접종한 후 온도의 편차와 냉장온도를 달리한 냉장고에 약 1개월간 보관하며 일정 기간별로 생균수의 변화를 측정하였다. 햄에서 *Listeria monocytogenes*의 생육 변화는 슬라이스 스모크햄(20 g/slice)에 초기 균수를 10^5/slice 정도로 접종한 후 멸균된 whirl pak bag (Nasco Co.)에 넣어 상기의 방법으로 저장하며 일정 기간별로 Listeria 선택배지에 배양하여 균수의 변화를 측정하였다.

결과 및 고찰

도미 근육의 단백질 변성

도미 단백질의 변성 정도를 DSC로 관찰한 결과는 Fig. 1과 같고, DSC endotherm에서 50°C 근처에서 peak 온도(Tp)를 보이는 myosin 단백질의 변성온도 자료를 Table 1에 정리하였다. Fig. 1에서 보면 대체로 저장 시간이 경과함에 따라 myosin의 변성온도가 50°C 이하로 낮아지고, 신선한 도미에서 관찰되지 않았던 새로운 peak가 45°C 부근에서 뚜렷하게 나타나 myosin이 변성된 것으로 추측할 수 있었다. Table 1에서 보여주듯이 저장 7일째의 myosin peak의 변성온도는 C 냉장고가 40.61°C로 가장 낮으며, A1 냉장고가 44.64°C로 가장 높게 나타나 변화가 가장 적었음을 알 수 있었다. 또한 DSC endotherm에서 다른 시료에서와 달리 C 냉장고의 endotherm은 저장 중 peak가 두 개로 분리되다가 저장 7일째는 앞의 peak 크기가 작아져 거의 하나의 main peak 형태를 나타냈으며, 다른 시료들은 계속 저장 중 두개의 분리된 peak를 보여 주었다. 이는 근단백질에서 해당작용이 일어난 뒤 단백질의 자가분해에 의해 근단백질이 분해되어 나타난 현상으로 근단백질 중 마이오신의 변화로 판단되며, 신선한 생선에 존재하여 단백질 구조를 안정화시키는데 기여하는 trimethylamine oxide (TMAO)가 분해되는 것으로도 설명할 수 있다[5]. 신선한 생선을 3.3% TMAO 용액에 담근 후 7일간 냉장고에서 저장했을 때 endotherm의 변화가 거의 없었다(data는 제시하지 않음). 이와같은 근단백질의 분해는 낮은 온도에서는 느리게 일어나고, TMAO의 소실속도도 느린 반면, 온도 변동이 큰 경우 근단백질과 TMAO의 변화가 빨리 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

사과의 경도 변화

저장 중 사과의 경도 변화는 Fig. 2와 같다. 냉장고의 평균온도가 2°C 정도인 A1과 A2 냉장고에 저장한 것은 저장 7일째까지는 연화되는 정도가 비슷하다가

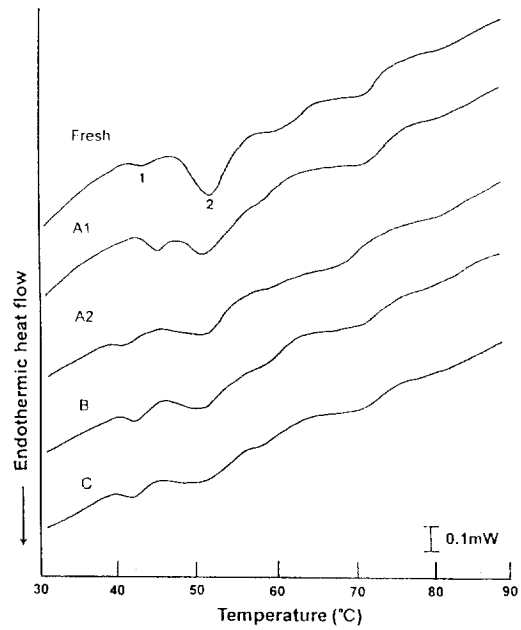

Fig. 1. DSC thermograms of fish muscle after 7 days in refrigerator A1: 2±0.3°C, A2: 2±1.0°C, B: 4±1.2°C, C: 4±4.0°C

Table 1. Peak temperatures of fish muscle in DSC thermograms stored at various temperatures

Storage time (days)	A1[1]		A2		B		C	
	T_p(°C)		T_p(°C)		T_p(°C)		T_p(°C)	
	Peak 1	Peak 2	Peak 1	Peak 2	Peak 1	Peak 2	Peak 1	Peak 2
0	44.78	52.02	44.78	52.02	44.78	52.02	44.78	52.02
1	44.78	51.49	44.24	51.35	44.10	51.08	44.80	51.76
3	45.44	51.35	43.38	51.35	43.38	51.35	43.57	51.22
7	44.64	51.22	41.81	49.87	42.36	50.40	40.61	50.54

[1]A1: 2±0.3°C, A2: 2±1.0°C, B: 4±1.2°C, C: 4±4.0°C

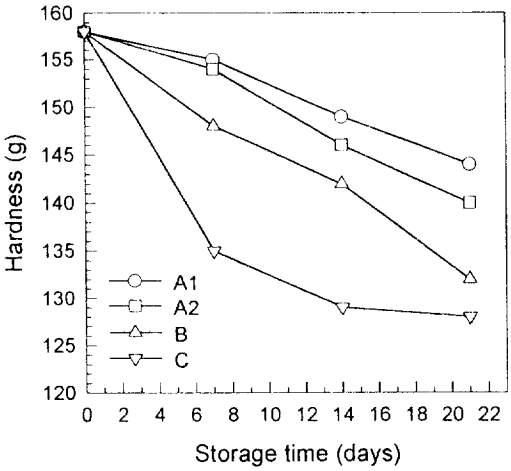

Fig. 2. Hardness of apples stored at various temperatures A1: 2±0.3°C, A2: 2±1.0°C, B: 4±1.2°C, C: 4±4.0°C

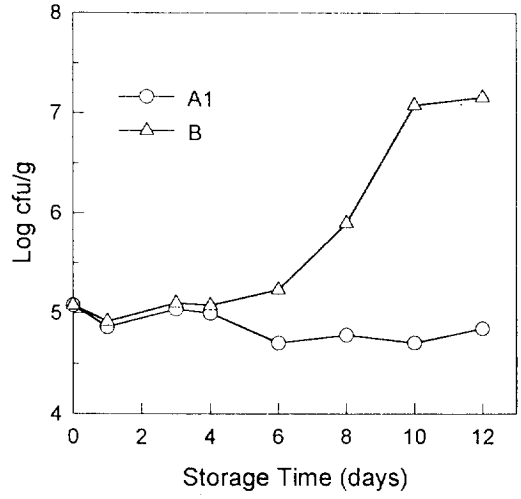

Fig. 3. Effects of storage conditions on the microbial populations of oysters, determined on Eugen agar without preincubation A1: 2±0.3°C, B: 4±1.2°C

그 이후 서서히 온도 편차가 보다 높은 A2 냉장고에 저장한 것이 A1 냉장고에 저장한 것 보다 더 빨리 연화되었다. 한편 B와 C 냉장고는 저장 직후부터 연화되는 속도가 급격히 증가되었고, 특히 C 냉장고의 경우 저장 14일째에 거의 최대로 연화되어 경도가 158 g에서 129 g으로 감소되었으며, B 냉장고의 경우는 저장 20일째에 이 값에 도달하였다. 즉 저장 온도가 낮을수록 연화되는 속도가 느렸으며, 이는 저장 온도가 펙틴분해효소의 활성에 영향을 주어, 펙틴질의 분해에 의한 조직의 연화 정도에 영향을 주는 것으로 추측할 수 있다. 또한 평균온도가 비슷하여도 온도의 변동이 있을 경우 조직의 연화에 더 많은 영향을 주어 A1 냉장고보다는 A2 냉장고에서, B 냉장고보다 C 냉장고에서 변화가 더 큰 것으로 나타났다.

생굴의 품질 변화

굴은 살이 부드럽고 상하기 쉬운 식품이기 때문에 저장 기간이 매우 짧고, 저장 온도의 변화에 민감하므로 온도가 다른 냉장고에 저장하면서 이의 품질 변화 정도를 미생물 수와 pH를 측정하여 비교하였다.

굴의 저장 중 미생물 수의 변화는 standard plate count agar와 Eugon agar 두 가지를 이용하여 배양조건을 달리하여 측정하였다. 굴의 초기 균수는 시험구마다 약간의 차이가 있었으나, 배지에 의한 차이는 크지 않았으며, 32°C에서 48시간 배양한 것과 저온균의 증식을 촉진시키기 위해 10°C에서 24시간 예비배양한 뒤 32°C에서 48시간 배양한 것의 차이 또한 거의 없었다(data는 제시하지 않음). 그러나 저장 온도에 의한 영향은 매우 커서, 평균온도가 2°C 정도인 A1 냉장고의 시료는 저장 12일까지 균수의 증가를 보이지 않은 반면, 평균온도가 4°C 정도인 B 냉장고의 시료는 저장 6일 이후 급격한 증가를 보이기 시작하여 저장 10일째에는 10^7 cfu/g 이상으로 증가하였다(Fig. 3).

굴은 저장 기간이 길어짐에 따라 미생물에 의한 발효 작용으로 산이 생성되므로 굴의 pH는 미생물 수와 더불어 굴의 신선도 판정의 지표로 활용된다[6]. 굴의 pH는 저장기간이 길어짐에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 보였는데(Fig. 4) pH 저하 경향 또한 저장 온도에 따라 상당히 달리 나타나 A2 냉장고에 저장하였을 경우 비교적 완만한 저하 현상이 나타났으나, B 냉장고의 경우 비교적 급격한 저하를 보였다. A1 시료의 pH는 9일만에, A2 시료의 pH는 저장 11일만에 pH 5.74에서 pH 5.56으로 약 0.18 unit 저하하였으나, B 냉장고의 경우 2일만에 pH 5.56 이하로 저하되어 온도가 높을 경우 부패가 훨씬 빨리 일어남을 알 수 있었다.

따라서 4°C 정도의 냉장 온도에서는 어패류에 서식하는 저온균의 증식이 활발히 이루어지며, 온도의 편차나 온도 변화에 아주 민감한 것으로 나타났으며, 2°C 정도의 냉장온도에서는 굴의 부패에 관여하는 미생물의 증식이 상당히 억제되는 점으로 보아, 어패류를 기존의 냉장온도인 4°C에 저장하는 것보다 냉장온도를 낮출 경우 저장 기간이 훨씬 연장될 것으로 기대된다.

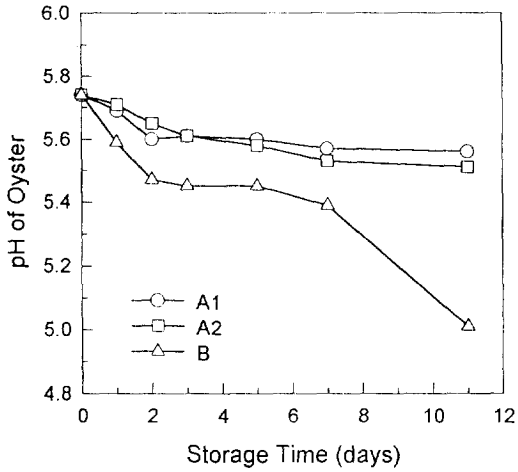

Fig. 4. Effects of storage conditions on pH of oysters A1: 2±0.3°C, A2: 2±1.0°C, B: 4±1.2°C

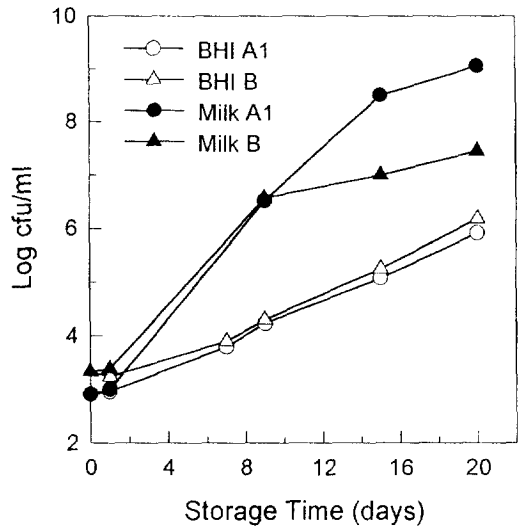

Fig. 5. Effects of storage conditions on growth of *L. monocytogenes* in BHI medium and milk during storage A1: 2±0.3°C, B: 4±1.2°C

배지(BHI broth), 우유, 햄에서 *Listeria monocytogenes*의 생육

실험배지인 BHI broth에서 *Listeria monocytogenes*의 성장속도는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 2°C에서는 매우 느렸으나, 4°C에서는 비교적 높은 성장률을 보여 20일만에 10^9 cfu/m*l*가 되었다. 우유의 경우 2°C에서의 성장 속도는 배지에서의 성장 속도와 비슷하였으나, 4°C에서의 성장 속도는 BHI 배지에서 보다 느리고, 최대균수도 10^7 cfu/m*l*에 도달한 후 정체기를 보였다. 그러나 계속된 실험으로 실험균주의 저온에 대한 내성이 증가되어 초기의 우유 실험에서는 2°C에서 *L. monocytogenes*의 generation time이 1.8일 정도였으나, 계속된 반복 실험에서는 1.2일로 줄어들었으며, 최대균수의 증가도 보여졌다.

수분함량이 적은 햄과 같은 식품에서 미생물의 생육은 온도에 의한 영향을 민감하게 받아, 평균온도가 2°C인 A 냉장고에 저장하였을 때는 초기 균수가 급격히 저하되어 1개월 후의 생존균수는 초기 균수의 10분의 1 미만이었다. 그러나 평균온도가 4°C인 냉장고에 저장할 경우, Listeria균은 다소 감소하는 경향을 보이긴 하였으나 곧 회복되어 완만한 성장률을 보여주었다. 또한 저장 온도의 편차도 미생물의 생육에 영향을 끼쳐, 온도편차가 4±4.0°C인 C 냉장고에서는, 4±1.2°C인 B 냉장고보다 미생물의 성장이 지속되어 약 1개월 뒤에는 생균수가 약 100배로 증가하였다 (Fig. 6).

이들 결과를 요약하면, 냉장 온도의 편차가 *L. monocytogenes*의 생육에 미치는 영향은 배지 및 식품의 종류에 따라 달리 나타나, 우유에서는 냉장 온도의 편차에 크게 영향을 받지않고 성장하였으나, 햄에서는 냉장 온도가 낮고, 온도의 변화폭이 적을수록 *L. monocytogenes*의 생육이 저해되었으며, 냉장식품에 오염된 균은 저장 기간이 길어짐에 따라 저온에 대한 내성이 증가하는 것으로 나타났다.

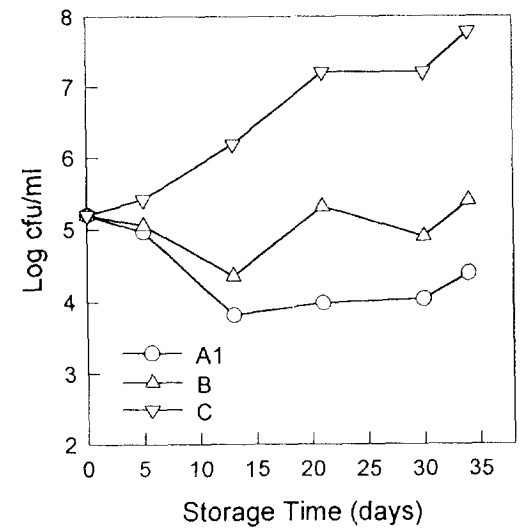

Fig. 6. Effects of storage conditions on growth of *L. monocytogenes* in ham A1: 2±0.3°C, B: 4±1.2°C, C: 4±4.0°C

따라서 *Listeria monocytogenes*에 의한 감염은 건강한 사람에게 나타날 확률이 비록 적긴 하지만 비병원성

*Listeria monocytogenes*보다 병원성균이 저온에 대한 저항성과 나쁜 환경조건에서도 생존률이 더 높고, 낮은 온도나 열악한 환경에서 독성(virulence)이 오히려 크게 증가하는 것으로 알려져 있으므로[7] 냉장식품에 대한 안전성에 보다 많은 관심을 가져야 하리라 본다.

요 약

가정용 냉장고의 냉장실 온도는 통상 4°C를 적용하고 있으나, 냉장온도를 2°C로 낮추고, 온도 편차를 줄일 경우 저장효과의 향상 정도를 비교하기 위하여, 각각 다른 조건에 저장한 과일과 어패류의 품질을 비교 측정하고 아울러 냉장온도에서 생육이 가능한 미생물의 생육정도를 비교하였다. 냉장 온도를 2°C로 낮추고 온도 편차를 ±0.3°C 정도로 낮춘 경우 사과의 경도는 저장 14일째까지 크게 변화하지 않았으나, 4°C의 냉장고에서는 7일 이후 경도가 서서히 감소하는 것으로 나타났으며, 도미의 근단백질 분해 정도 또한 2°C에서는 느리지만, 저장온도가 높거나 온도편차가 심할 경우 근단백질의 분해가 빨리 나타나 도미의 신선도가 빨리 저하됨을 보여 주었다. 굴의 저장 중 미생물수의 변화는 2°C에서는 저장 9일째까지 균수의 증가를 보이지 않은 반면, 저장온도가 4°C인 경우 저장 5일 이후 급격한 증가를 보였고, pH 저하 또한 2°C에서는 비교적 완만하였으나 4°C에서는 급격히 저하되었다. *Listeria monocytogenes*는 우유 중에서는 2°C에서도 성장하였으나, 햄에서는 냉장온도가 2±0.3°C인 경우 증식이 억제되어 생존 균수가 감소하였고, 4±1.2°C인 경우 약간 성장하였고, 온도 편차가 보다 심한 4±4°C에서는 성장이 지속되어 생존균수의 증가를 보여주었다. 따라서 냉장온도를 2°C로 낮추고 온도의 편차를 줄임으로써 과일이나 어패류의 저장기간을 보다 연장시키고 유해 미생물의 증식이 상당히 억제될 수 있으리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 (주)대우전자와 서울대학교 농업생물신소재연구센터의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Fennema, O.R., Karel, M. and Lund, D.B.: *Physical Principles of Food Preservation*. p.133-215 (1975)
2. Doyle, M.P.: Effect of environmental and processing conditions on *Listeria monocytogenes*. *Food Technol.* **53**, 169 (1988)
3. Griffiths, M.W.: *Listeria monocytogenes*; Its importance in dairy industry. *J. Sci. Food Agric.* **47**, 133 (1989)
4. FDA center for Food Safety and Applied Nutrition-Milk Safety Branch, Initiatives: *Preliminary Status Report*. Washington, D.C. September 22 (1988)
5. Rodger, G. and Hastings, R.: Role of trimethylamine oxide in the freeze denaturation of fish muscle-Is it simply a precursor of formaldehyde? *J. Food Sci.* **49**, 1640 (1984)
6. Jay, M.J.: *Modern Food Microbiology*. 3rd ed., Van Nostrand Reinhold Co., N.Y. (1986)
7. Junttila, J., Niemela, S.E. and Hirn, J.: Minimum growth temperatures of *Listeria monocytogenes* and non-hemolytic Listeria. *J. Appl. Bacteriol.* **65**, 321 (1988)

(1995년 11월 22일 접수)