

감마선 조사가 돈육의 저장성에 미치는 영향

변명우 · 조옥기 · 이주운 · 김재훈 · 김경표 · 김영지*
한국원자력연구소 방사선 식품 · 생명공학 기술개발팀
*영남이공대학 식품영양학과

Effect of Gamma Irradiation on Shelf Life of Pork Loin

Myung-Woo Byun, Ok-Ki Cho, Ju-Woon Lee, Jae-Hun Kim, Kyoung-Pyo Kim, and Yeung-Ji Kim*

Team for Radiation Food & Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute

*Department of Food Science and Nutrition, Yeungnam College of Science and Technology

Abstract

Microbial populations (total bacteria, lactic acid bacteria and coliforms), TBA, VBN and POV were investigated for evaluating the shelf life of pork loins gamma-irradiated at doses of 1, 3, 5 and 10 kGy with air-contained and vacuum-packaged methods. The initial microbial populations decreased with gamma irradiation depending upon the dose and microorganisms in the vacuum-packaged samples were inhibited more than those in the air-contained samples. POV, TBA and VBN values were higher in the air-contained samples than in the vacuum-packaged samples. In conclusion, the combination of gamma-irradiation and vacuum-packaging could extend the shelf life of chilled pork loin.

Key word : pork loin, irradiation, vacuum-packaging, shelf life

서 론

최근 육류 소비가 점차 증가함에 따라 육류의 맛, 색, 향미, 품질과 함께 위생화가 문제시되고 있으며, 특히 육류시장이 개방됨에 따라 *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 등의 병원성 미생물에 의한 오염이 세계적으로 문제시되고 있다. 이에 식육 부패 방지책과 연도개선책으로 저온 저장법(1), 진공 포장법(2)과 도축라인에서의 전기 자극법(3,4), 가열 처리/법 등의 물리적인 방법과 acetic acid, lactic acid, fumaric acid 등의 유기산 처리법(5-7) 등과 potassium sorbate, sorbic acid, BHA, BHT, EDTA 등의 합성 보존제(8)를 사용한 연구가 진행되기도 하였다. 그러나, 이들의 처리로 인한 여러 문제점들이 대두되고 합성

보존제에 의한 건강 장애가 발생함에 따라 화학 혼합물과 합성 보존제의 사용이 제한되고 있어 이들을 대체할 수 있는 방법들에 대한 연구가 계속되고 있다. 최근에는 세계적으로 사용이 점차 확산되고 있는 방사선 조사법의 이용이 증가하고 있다. 식품조사기술은 50여 년 동안 연구되어 왔으며 1980년대 이후 FAO/IAEA/WHO 방사선 조사식품에 대한 전문위원회에서 "10 kGy 이하로 조사된 식품은 독성학적, 미생물학적 문제가 없다"고 공식 인정하면서 이에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있으며 실용화되고 있다(9,10). 국내에서는 현재 13개 식품군에 발아와 노화를 억제시켜 신선도를 오래 유지하고 저장 기간을 연장시키는 방안으로 방사선 조사법이 허가되었다(11). 식육의 방사선 조사에 대한 연구는 식육에서 기인되는 식중독 등을 방지하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다(12-15).

본 연구는 감마선 조사와 포장방법이 돈육 등심의 저장성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다.

Corresponding author : Dr. Myung-Woo Byun, Team for Radiation Food & Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejeon 305-353, Korea

재료 및 방법

재료 및 방사선 조사

시료는 도축 후 24시간이 경과된 돈육 등심을 구입하여 근육을 두께 5 cm (약 500 g)내외가 되게 절단한 후 진공포장과 합기포장을 하였다. 포장된 시료를 Co-60 감마선 조사시설 (10만 Ci)을 이용하여 시간당 2 kGy의 선량율로 1, 3, 5와 10 kGy의 총흡수선량을 얻도록 조사하였고, ceric-cerous dosimeter를 이용하여 흡수선량을 확인하였다. 이때 흡수선량의 오차범위는 ± 0.12 kGy였다. 감마선 조사된 시료는 4 ± 1℃ 냉장고에 30일 동안 저장하면서 시험시료로 사용하였다.

미생물수 측정

미생물 변화는 swab method(16)로 시료의 표면에 10 cm²의 면적을 가진 멸균격자와 멸균된 면봉을 이용하여 25회에 걸쳐 표면을 문지른 다음 0.1% 멸균 peptone water에 넣은 후 회석하였다. 총균수는 plate count agar(Difco co., USA)를 사용하였으며, 유산균수는 bromo cersol purple(Merck Lab., Germany) 배지를 이용하였고, 대장균수는 EMB agar를 사용하여 pouring method로 행하였으며, 37℃에서 24~48 시간 배양 후 균수(colony forming unit, CFU)를 계측하였다.

과산화물가 측정

돈육의 과산화물가는 Hampson 등의 방법(17)에 따라 저장기간별로 측정하였다. 즉, 감마선 조사 돈육을 마쇄한 후 chloroform:methanol(2:1, v/v)용액으로 3 시간동안 추출한 후 Na₂SO₄를 첨가하여 수분을 제거한 후 여과시켰다. 이 여액을 농축시킨 후 chloroform:acetic acid(2:3, v/v)용액으로 용해시키고 KI 포화 용액 0.5 ml를 가하여 1분간 충분히 진탕시키고 5분간 암소에 보관 후 증류수 75 ml와 1% 전분 수용액 2.5 ml를 가하고 0.005 N Na₂S₂O₃로 적정하여 측정하였다.

TBA가 측정

TBA(2-Thiobarbituric acid)가는 Turner 등의 방법(18)을 사용하여 측정하였다. 마쇄한 돈육 1g에 20% TCA(trichloroacetic acid in 2M phosphoric acid) 용액 5 ml과 0.01 M TBA 용액 10 ml를 가한 후 30분 동안 가열하였다. 가열 후 즉시 냉각시킨 후 isoamylalcohol:pyridine(2:1, v/v)용액을 15 ml씩 가한 후 2분간 충분히 진탕시키고 원심분리(2,400rpm, 15 min)하여 그 상정액을 이용하여 흡광도(538nm)를 측정하였다.

Volatile basic nitrogen(VBN value)

휘발성 염기태 질소는 마쇄한 시료 10 g을 취하여 Wahisa의 Conway 미량 확산법(19)을 이용하여 0.02 N H₂SO₄ 용액으로 적정하였다.

결과 및 고찰

총균수의 변화

포장방법과 조사선량에 따른 돈육 저장 중의 총균수 변화는 Fig. 1.과 같다. 모든 처리구에서 저장 기간이 경과함에 따라 돈육의 총균수는 점차 증가하였다. 조사직후 비조사구의 총균수는 3.3×10³ CFU/cm²이었으나, 1과 3 kGy 처리구는 각각 0.6과 8.3×10² CFU/cm²를 나타내어 감마선 조사에 의해 초기 총균수가 감소되었으며, 5 kGy 이상의 처리구에서는 검출되지 않았다. 포장 방법에 따른 총균수 변화는 저장 14일째 합기 포장육의 비조사구와 1 kGy 처리구는 10⁶와 10⁵ CFU/cm²를 나타내어 이미 부패 초기단계에 있는 것으로 판단되었다.

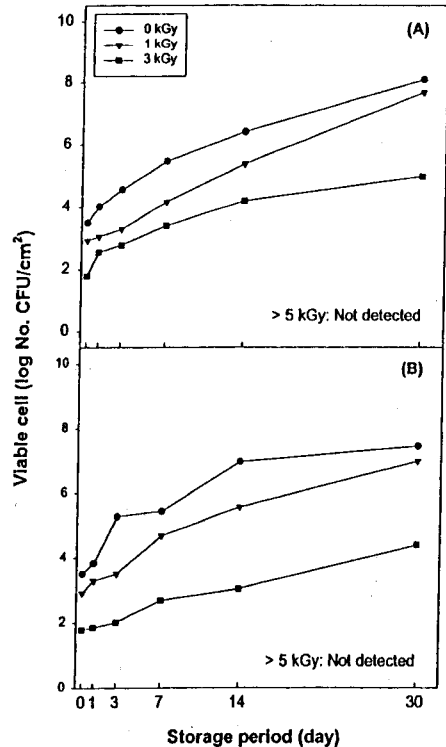


Fig. 1. Effect of packaging methods, air(A) and vacuum(B), and γ -irradiation on the changes of total bacteria in pork loins during storage at 4℃. Pork loins were packaged and irradiated at the designated dose. 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

3 kGy 조사구는 저장 30일까지 10^4 CFU/cm²를 나타내어 비조사구에 비해 2 log₁₀ cycle의 균수 억제를 보였으며, 5 kGy 이상 조사구에서는 검출되지 않았다. 진공 포장육의 총균수는 비조사구의 경우 저장 14일째 10^6 CFU/cm²를 나타내어 합기포장육과 마찬가지로 이미 부패단계이 이르렀으나, 3 kGy 조사구는 저장 30일째까지 2.45×10^4 CFU/cm²를 나타내어 비조사구에 비해 약 3 log₁₀ cycle 정도의 초기 미생물 사멸효과를 나타냈고, 조사선량이 증가함에 따라 총균수 증식이 억제됨을 알 수 있었다. 진공 포장육이 합기 포장육에 비해 총균수 증식이 현저히 억제되었으며, 조사선량이 증가함에 따라 총균수 감소가 뚜렷이 관찰되어 감마선 조사 및 진공포장이 돈육의 저장 기간을 연장시킬 수 있었다.

유산균수의 변화

포장방법과 감마선 조사선량에 따른 돈육의 저장 중 유산균수 변화는 Fig. 2.와 같다. 비조사구의 초기 유산균수는 1.05×10^3 CFU/cm²인데 반해, 1~3 kGy 조사구에서는 각각 5.01×10^2 , 0.33×10^2 CFU/cm²로 감마선 조사에 의해 초기 유산균수가 감소하였다. 유산균수는 저장이 진행됨에 따라 점차 증가하였는데, 저장

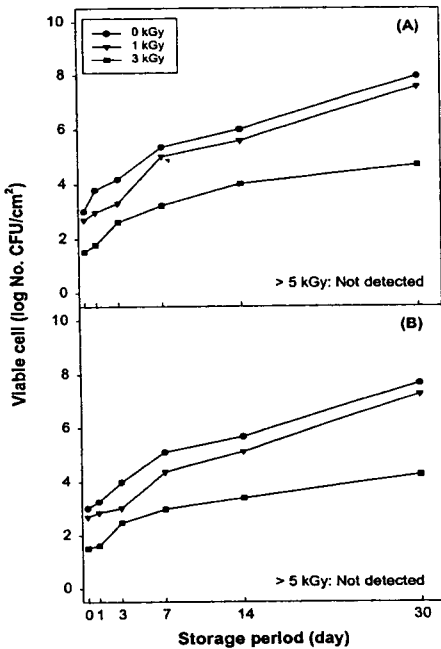


Fig. 2. Effect of packaging methods, air(A) and vacuum(B), and γ -irradiation on the changes of lactic acid bacteria in pork loins during storage at 4°C. Pork loins were packaged and irradiated at the designated dose, 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

14일째 합기포장육의 비조사구는 1.02×10^6 CFU/cm²를 나타내었으며, 1kGy 조사구는 3.98×10^5 CFU/cm², 3kGy 조사구는 1.05×10^4 CFU/cm²를 나타내어 저선량인 1 kGy 조사구는 비조사구와 비슷하게 나타났으나, 3 kGy 조사구는 2.0 log₁₀ cycle의 균수 억제효과를 나타내었다. 또한 5 kGy 이상 조사구에서는 조사 직후부터 검출되지 않았다. 진공 포장육의 유산균수는 저장 14일째 비조사구가 4.79×10^5 CFU/cm², 1, 3kGy 조사구에서 각각 1.32×10^5 , 2.51×10^5 CFU/cm²를 나타내어 3 kGy 조사구는 비조사구에 비해 약 2.28 log₁₀ cycle 정도의 유산균수 억제를 보였다. 또한 합기 포장육에서와 마찬가지로 5 kGy 이상 조사구에서는 검출되지 않았으며, 저장 기간동안 합기 포장육에 비해 진공 포장육에서 유산균의 증식이 더욱 저해됨을 알 수 있었고, 감마선 조사 선량이 증가함에 따라 유산균의 성장이 뚜렷이 억제됨을 알 수 있었다.

대장균수의 변화

식품의 오염 지표균으로 사용되는 대장균의 포장 방법 및 감마선 조사에 따른 변화는 Fig. 3.과 같다.

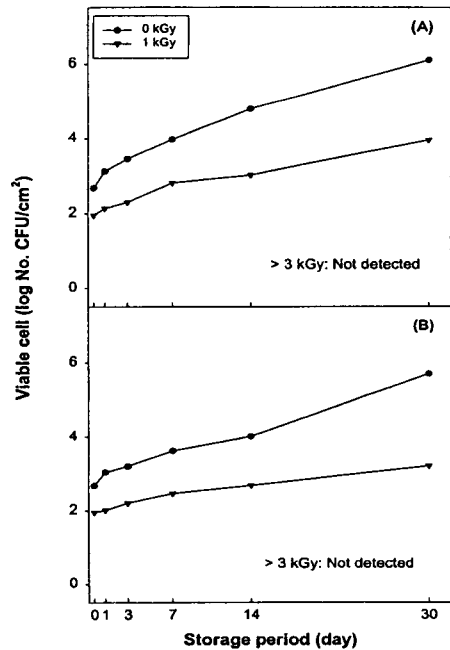


Fig. 3. Effect of packaging methods, air(A) and vacuum(B), and γ -irradiation on the changes of coliform group in pork loins during storage at 4°C. Pork loins were packaged and irradiated at the designated dose, 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

대장균의 초기 오염도는 비조사구에서 4.78×10^2 CFU/cm², 1 kGy 조사구에서 9.1×10^1 CFU/cm²를 나타내었으나, 3 kGy 이상 조사구에서는 조사직후부터 대장균이 검출되지 않았다. 저장기간이 경과되고 부패가 진행됨에 따라 대장균수는 점차 증가하여 저장 30일째에는 합기 포장육의 비조사구가 1.29×10^6 CFU/cm²를 나타내었으나 1 kGy 조사구는 9.12×10^3 CFU/cm²를 나타내어 약 2.1 log₁₀ cycle 정도의 균수 억제력을 보였다. 또한 진공 포장육의 비조사구는 4.9×10^5 CFU/cm², 1 kGy 조사구는 1.58×10^3 CFU/cm²를 나타내어 비조사구에 비해 약 2.49 log₁₀ cycle 정도의 대장균수 억제력을 보였으며, 3 kGy 이상 조사구에서는 합기포장에서와 같이 조사 직후부터 대장균이 검출되지 않아 대장균이 감마선에 감수성이 매우 높다는 보고(20)와 일치하였다. 또한 진공 포장육이 합기 포장육에 비해 대장균 증식이 억제되어 포장 방법에 따라 미생물 증식 억제 효과가 있음을 알 수 있었다.

과산화물가의 변화

과산화물가는 지질이 산소 존재하에 저장시 생성되는 중간산물로써 감마선 조사와 포장 방법에 따른 과산화물가의 변화는 Fig. 4.와 같다. 저장 초기 비조사

구의 과산화물가는 11.72 meq/kg였으며 저장기간이 경과함에 따라 서서히 증가하는 경향을 보여 저장 30일째에는 합기 포장육과 진공 포장육이 각각 36.95 및 35.56 meq/kg을 나타내어 부패단계에 이르렀다. 한편 감마선 조사구는 합기 포장육의 경우 1, 3, 5 및 10 kGy 조사구에서 조사직후 각각 12.23, 13.24, 14.50, 15.55 meq/kg를 나타내었고 저장 동안 계속 증가하다가 14일 이후 급격히 증가하여 저장 30일째 각각 38.43, 39.76, 43.36 및 45.96 meq/kg을 나타내 저선량인 1 kGy 조사구는 비조사구와 과산화물 생성이 비슷하였으나 3 kGy 이상 조사구는 비조사구에 비해 증가함을 알 수 있었다. 또한 진공 포장육의 과산화물가 변화를 보면 저장 30일째 1, 3, 5, 10 kGy 조사구가 각각 36.56, 37.42, 38.37 및 40.26 meq/kg을 나타내어 저장 동안 계속 증가하였고 조사선량이 증가함에 따라 더 크게 나타났다. 또한 진공포장육이 합기포장육에 비해 과산화물가가 낮게 나타남을 알 수 있었다.

TBA가의 변화

돈육의 감마선 조사와 포장방법에 따른 TBA가 변화는 Fig. 5.와 같다. 돈육은 저장이 진행됨에 따라 점차

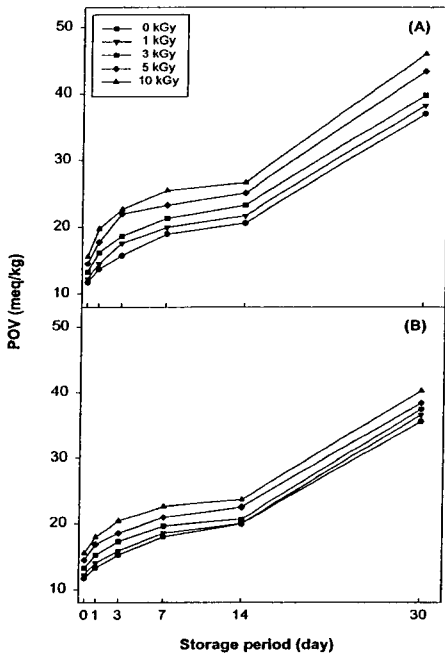


Fig. 4. Effect of packaging methods, air(A) and vacuum(B), and γ -irradiation on the changes of peroxide values in pork loins during storage at 4°C. Pork loins were packaged and irradiated at the designated dose. 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

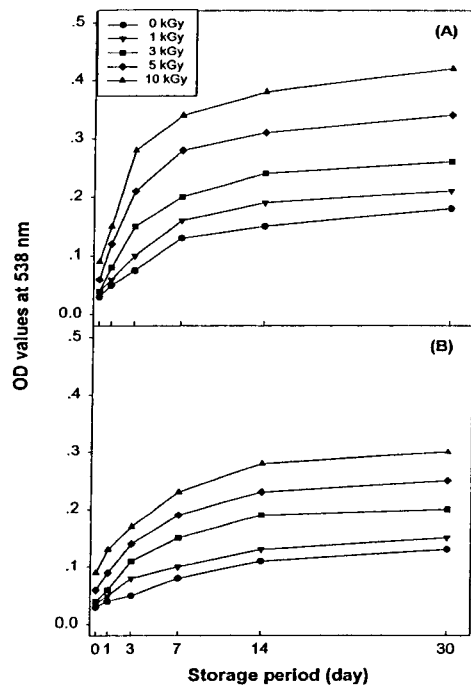


Fig. 5. Effect of packaging methods, air(A) and vacuum(B), and γ -irradiation on the changes of TBA values in pork loins during storage at 4°C. Pork loins were packaged and irradiated at the designated dose. 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

지방 산패가 일어나며 이로 인해 과산화물 함량도 증가하는데 감마선 조사구와 비조사구 모두 저장기간에 따라 TBA가도 증가하는 경향을 보였다. 또한 조사선량이 증가함에 따라 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 포장방법에 따른 TBA의 변화를 보면 합기포장육은 저장 1일 이후부터 급격한 증가를 보이기 시작하여 저장 14일 이후 급격한 증가를 보였고, 특히 5, 10 kGy 조사구의 증가폭이 더 크게 나타났다. 진공포장육은 합기포장육에 비해 전반적으로 생성되는 과산화물 함량이 낮게 나타났다. 이는 감마선이 지방산화를 촉진한다는 Smith 등의 보고(21)와 일치하였으며, 진공포장에 의해 돈육의 지방산패가 지연되었다는 Bhattacharya 등(22)과 포장재에 따라 TBA가 변화되며 산소투과성이 낮은 포장재를 이용할수록 지방의 산화정도가 낮게 나타났다는 Kim 등(23)의 보고와도 일치하였다. 이로써 TBA는 감마선 조사 선량이 증가함에 따라 증가하며 포장방법에 따라서는 큰 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

VBN의 변화

육류는 변패가 진행됨에 따라 미생물에 의해 단백질이 아미노산과 암모니아태 질소로 변화되며 따라서 저장기간이 경과함에 따라 휘발성 염기태 질소 함량이 증가한다. 포장방법과 조사선량에 따른 휘발성 염기태 질소 함량의 변화를 보면(Fig. 6) 비조사구는 초기에 11.21 mg%를 나타내었으며 1, 3, 5 및 10 kGy 조사구는 조사직후 각각 11.21, 9.8, 8.4 및 8.4 mg%를 나타내어 3 kGy 이상 조사시는 조사직후부터 휘발성 염기태 질소 함량이 낮게 나타남을 알 수 있었다. 저장기간에 따른 변화를 보면 합기포장육은 저장일수가 경과함에 따라 점차 증가하여 저장 14일째 비조사구는 이미 부패기준인 20 mg%를 초과하였으며, 1 kGy 조사구도 19.61 mg%로 거의 부패 단계에 이르렀다. 반면 5 kGy 조사구는 저장 30일째에도 22.41 mg%를 나타내어 비조사구에 비해 저장 기간을 15일정도 더 연장시킬 수 있는 것으로 나타났으며 특히 10 kGy 조사구는 저장 30일에도 16.00 mg%로서 돈육의 저장기간을 더욱 연장시킬 수 있을 것으로 사료된다. 또한 진공포장육의 경우도 합기포장육과 마찬가지로 저장 기간이 경과함에 따라 점차 증가하여 저장 14일째 비조사구는 19.61 mg%, 1 kGy 조사구는 18.21 mg%를 나타내어 부패 기준치에 거의 도달함을 알 수 있었으며, 5 및 10 kGy 조사구에서는 저장 30일째에 각각 20.61, 16.81 mg%로서 비조사구에 비해 부패가 지연됨을 알 수 있었다. 진공포장육의 휘발성 염기태 질소 함량이 합기포장육에 비해 낮게 나타났는데 이는 진공 포장에 의해 부패 진행

속도가 느리게 나타나 유통기간 연장에 유리하다는 Jaye 등(24)과 Eagan과 Shay(25)의 연구결과와 일치하였다.

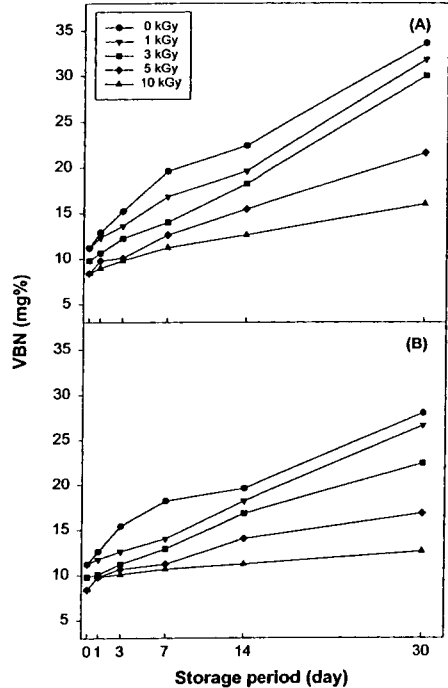


Fig. 6. Effect of packaging methods, air(A) and vacuum(B), and γ -irradiation on the changes of VBN contents in pork loins during storage at 4°C.

Pork loins were packaged and irradiated at the designated dose. 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

요약

감마선을 조사시킨 돈육의 저장성을 살펴보기 위하여 4°C에서 포장방법(합기, 진공)을 달리하여 30일간 저장하면서 총균수, 유산균수, 대장균수, POV, TBA, VBN 함량 변화를 관찰하였다. 돈육에 오염된 미생물수는 감마선 조사에 의해 감소하였고 이는 조사선량이 증가함에 따라 현저하게 나타났다. 합기포장시보다 진공포장시에 균 증식 억제 효과는 더욱 뚜렷하였다. 저장 중 POV, TBA, VBN가는 진공포장구에서 보다 합기포장구에서 더 높은 값을 나타내었다. 결론적으로 감마선 조사와 진공 포장 방법의 병행으로 돈육의 저장성을 연장시킬 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 그 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Brewer, M.S., Ikins, W.G. and Harberts, C.A.Z. (1992) TBA Value sensory characteristics and volatiles in ground pork during long-term frozen storage : Effect of packaging. *J. Food Sci.*, 57, 558-561
2. Gill, C.O. and Penney, N. (1988) The effect of initial gas volume to meat weight ratio on the storage life of chilled beef packaged under carbon dioxide. *Meat Sci.*, 22, 53-63
3. Raccach, M. and Henrickson, R.L. (1978) Storage stability and bacteriological profile of refrigerated ground beef from electrically stimulated hot-bonded carcasses. *J. Food Prot.*, 41, 957-960
4. Bendall, J.R. (1976) Electrical stimulation of rabbit and lamb carcasses. *J. Sci. Food Agric.*, 27, 819-821
5. Dickson, J.S. and Anderson, M.E. (1992) Microbiological decontamination of food animal carcasses by washing and sanitizing systems : A review. *J. Food Prot.*, 55, 133-140
6. Smulder, F.J.M. and Woolthuis, C.H.J. (1985) Immediate and delayed microbiological effects of lactic acid decontamination of calf carcasses- Influence of conventionally boned versus hot-boned and vacuum-packed cuts. *J. Food Prot.*, 48, 849-852
7. Anderson, M.E. and Marshall, R.T. (1989) Interaction of concentration and temperature of acetic acid and solution on reduction of various species of microorganisms on beef surfaces. *J. Food Prot.*, 52, 312-315
8. Unda, J.R., Molins, R.A. and Walker, H.W. (1990) Microbiological and some physical and chemical changes in vacuum-packaged beef steaks treated with combinations of potassium sorbate, phosphate, sodium chloride and sodium acetate. *J. Food Sci.*, 55, 323-326
9. FAO/WHO/IAEA. (1990) Code of Good Irradiation Practice for Prepackaged Meat and Poultry (to control pathogens and/or extend shelf life). ICGFI Document No. 4, Vienna.
10. Thayer, D.W. (1994) Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.*, 48(5), 58-67
11. Byun, M.W. (1997) Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Korean J. Food Sci. & Ind.* 30(1), 89-100
12. Laleye, L.C., Lee, B.H., Simard, R.E., Carmichael, L. and Holley, R.A. (1984) Shelf life of vacuum- or nitrogen-packed pastrami : Effects of packaging atmosphere, temperature and duration of storage on microflora change. *J. Food Sci.*, 49, 827-831
13. Kim, I.S., Min, J.S., Lee, S.O., Shin, D.K., Lee, J.I. and Lee, M.H. (1998) Physico-chemical and sensory characteristics of domestic vacuum packed pork loins for export during chilled. *Korean J. Anim. Sci.*, 40, 401-412
14. Murano, P.S., Muran, E.A. and Olson, D.G. (1988) Irradiated ground beef : Sensory and quality changed during storage under various packaging condition. *J. Food Sci.*, 63, 548-551
15. Lebepe, S., Molins, R.A., Charoen, S.P., Farrar IV, H. and Skowronski, R.P. (1990) Changes in microflora and other characteristics of vacuum-packaged pork loins irradiated at 3.0 kGy. *J. Food Sci.*, 55, 918-924
16. Kotula, A.W. (1966) Variability in microbiological samplings of chickens by the swab method. *Poultry Sci.*, 45, 233-236
17. Hampson, J.W., Fox, J.B., Lakritz, L. and Thayer, D.W. (1996) Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats. *Meat Sci.*, 42, 271-276
18. Turner, E.W., Paynter, W.D., Montie, E.J., Bessert, M.W., Struck, G.M. and Olson, F.C. (1954) Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *Food Technol.*, 8, 326-330
19. Wahisa, T. (1975) The method of preservation on meat product. *Japanese J. food ind.*, 18, 105-108
20. Thayer, D.W., Boyd, G., Fox, J.B., Lakritz, L. and Hampson, J.W. (1994) Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Sci.*, 60, 63-67
21. Smith, N.L., Tinsley, I.J. and Bubl, C.E. (1960) The thiobarbituric acid test in irradiation sterilized beef. *Food Technol.*, 14, 317-320
22. Bhattacharya, M., Hanna, M.A. and Mandigo, R.W. (1988) Lipid oxidation in ground beef patties as affected by time-temperature and product packaging parameter. *J. Food Sci.*, 53, 714-717
23. Kim, S.M., Lim, S.D., Park, W.M., Kim, Y.S., Kim, Y.B. and Kang, T.S. (1990) A study on the establishment of shelf-life of imported beef according to packaging method. *Korean J. Anim. Sci.*, 32, 413-416

24. Jaye, M., Kittaka, R.S. and Ordal, Z.J. (1962)
The effect of temperature and packaging material on
the storage life and bacteria flora of ground beef.
Food Technol., 16, 95-100
25. Egan, A.F. and Shay, B.J. (1982) Significance of
lactobacilli and film permeability in the storage of
vacuum-packaged beef. *J. Food Sci.*, 47, 1119-1123
-

(1998년 12월 14일 접수)