J. Fd Hyg. Safety 14(2),160-166 (1999)

계육의 위생화 및 안전 저장을 위한 감마선 조사

이주운 · 이경행 · 육홍선 · 이현자* · 변명우†
한국원자력연구소 방사선 식품, 생명공학 기술개발팀 · 국립한경대학교 가정학과

Sanitizing and Extending of Shelf Life of Chicken Meat by Gamma Irradiation

Ju-Woon Lee, Kyong-Haeng Lee, Hong-Sun Yook, Hyun-Ja Lee* and Myung-Woo Byun†
Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute
**Department of Home Economics, Hankyong National University*

ABSTRACT – Microbial populations of total aerobic bacteria and coliforming bacteria, TBA, Hunter's color value, heme pigments, muscle protein solubility, cooking loss and shear force were investigated for evaluating the shelf life of chicken legs 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. TBA values were higher in the air-contained samples than in the vacuum-packaged samples. Hunter's L and a values of the surface and inside of the legs increased by gamma irradiation, showing a bright red color and the red color was maintained during the storage of both samples. The concentrations of oxymyoglobin among the heme pigments increased by gamma irradiation. Muscle protein solubility slightly increased by increasing the applied dose. There were no significant differences in the cooking loss and shear force values. In conclusion, the combination of gamma irradiation and vacuum-packaging could extend the shelf life of chilled chicken without deterioration of the quality.

Key words ☐ Chicken, Shelf life, Meat quality, Gamma irradiation

최근 육류 소비가 점차 증가함에 따라 육류의 맛, 색, 향미, 품질과 함께 위생화가 문제시되고 있으며, 특히 육류시장이 개방됨에 따라 *Listeria monocytogenes, Salmonella spp, Escherichia coli* O157:H7 등의 병원성 미생물에 의한 오염이 세계적으로 문제시되고 있다.[1] 식육에 방사선이 조사되면 식육에 존재하는 수분의 이온화로부터 생성된 활성 유리 radical들의 식육성분과의 화학적 반응과 그 반응에서 생성된 또 다른 화합물들에 의한 2차 화학적 반응으로 식육의 미생물학적, 이화학적 및 물성 특성에 영향을 미친다.[2-4] 적절한 선량의 방사선 조사는 계육의 물리화학적 및 관능적 특성에 영향을 주지 않으면서 계육에서 유래하는 부패성 미생물과 병원성 미생물들을 사멸 또는 억제시켜 위생적으로 안전하고 냉장 조건에서도 장기 저장이 가능하게 하는 방법이다.[1] 방사선 조사기술은 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 그 건전성과 경제성이 공인되어 현재 39개국에서 40여 식품군(230여 품목)이 각국 보건당국에 의해 허가되어 실용화되고 있다.[5,6] 이를 배경으로 WTO체제하에서 육류의 국제교역에서 방사선 조사기술의 이용이 확대될 전망이고, 이에 따른 국가간 무역마찰 방지와 소비자의 수용성 확보 등 국내 연구자료의 마련이 필요시 되고 있다. 또한 계육의 수요, 생산 및 수입량의 증가는 이들 제품의 위생적이고 효율적인 도계공정과 안전한 저장 및 유통기술의 확보가 요구되고 있다. 따라서 계육의 위생적 생산과 유통을 위한 효과적인 방법으로써 계육으로부터 기인되는 병원성 미생물에 의한 질병의 억제 및 국제무역에서의 위생적 기준을 만족시키기 위한 수단으로써 방사선 조사기술의 이용이 제안되었으며 점차 확대될 전망이다.[7,8]

이에 본 연구에서는 계육을 감마선 조사한 후 냉장 저장하면서 미생물 생육과 식품학적 특성 변화를 조사하였다.

†Author to whom correspondence should be addressed.

재료 및 방법

시료 및 방사선 조사

시료는 도계 후 예냉이 끝나고 해체된 Broiler종의 다리를 구입하여 진공포장과 함기포장을 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.

미생물 생육 측정

미생물 변화는 Swab method[9]로 시료의 표면에 10 cm^2의 면적을 가진 멸균격자와 멸균된 면봉을 이용하여 25회에 걸쳐 표면을 문지른 다음 0.1% 멸균 peptone water에 넣은 후 희석하였다. 호기성 총균수는 Plate count agar (Difco co., USA)를 사용하였으며, 대장균수는 EMB agar를 사용하여 pouring method로 행하였으며, 37℃에서 24~48 시간 배양 후 균수(colony forming unit, CFU/cm^2)를 계측하였다.

TBA가 측정

TBA(2-Thiobarbituric acid)가는 Turner 등의 방법[10]을 사용하여 측정하였다. 즉, 마쇄한 계육 1 g에 20% TCA-(trichloroacetic acid in 2 M phosphoric acid) 용액 5 ml과 0.01 M TBA 용액 10 ml을 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(2,400 rpm, 15 min)하여 그 상징액을 이용하여 흡광도(538 nm)를 측정하였다.

기계적 색도 및 육색소 함량 측정

계육 다리의 표면색도는 껍질을 벗긴 후 Color/color difference meter (ND-1001 NP, I&T Co. Ltd., Japan)를 사용하여 Hunter 색차계의 명도(L, lightness,), 적색도(a, redness) 및 황색도(b, yellowness)를 5회 반복 측정하여 평균값을 얻었다. 이때 사용된 표준 백판의 L, a, b값은 90.6, 0.4 및 3.3이었다. 또한 각 시료에 대한 heme pigment의 상대적 농도는 Krzywichi[11]의 방법에 의하여 5회 반복 측정하여 평균값으로 나타냈다.

단백질 용해성 측정

근혈장 단백질과 근섬유 단백질 용액은 Wagner와 Anon[12]의 방법을 변형하였다. 즉, 2 g의 시료에 20 mL의 0.15 M NaCl과 10 mM sodium phosphate 혼합완충용액(pH 7.0, PBS)을 첨가한 후 균질기(Ultraturex, Heidolph DIAX 900, Germany)에서 10,000 rpm의 회전속도로 3분간 균질화한 후 9,000 rpm으로 4℃에서 30분간 원심분리하였다. 상등액을 Whatman No. 3 여과지를 사용하여 여과한 후 그 여액을 근혈장 단백질 용액으로 사용하였다. 원심분리 후 남은 침전물을 PBS를 사용하여 같은 방법으로 3회 수세한 후 침전된 부분에 0.6 M NaCl과 10 mM sodium phosphate 혼합완충액(pH 7.0, high salt buffer, HSB)을 첨가한 후 다시 균질하고 원심분리기에서 9,000 rpm으로 4℃에서 30분간 원심분리하였다. 상등액을 Whatman No. 3 여과지를 사용하여 여과하여 얻은 여액을 근섬유 단백질 용액으로 사용하였다.

위의 방법으로 얻어진 단백질 용액들의 단백질 농도를 결정하기 위하여 Bicichinconic acid (BCA) protein assay kit (Sigma Chemical Co., St Louis, MO, U.S.A)를 사용하였고[13], 표준용액으로는 0.5 mg/mL에서 5.0 mg/mL 농도의 bovine serum albumin 용액을 사용하였다. 단백질 용해성은 근혈장 단백질과 근섬유 단백질의 농도를 합하여 산출하였다.

가열감량 측정

Seideman 등[14]의 방법을 사용하여 감마선 조사 후 가열처리에 의한 수분 손실량을 측정하였다. 포장된 상태로 80℃로 고정된 water bath에서 시료의 중심온도가 70℃가 될 때까지 가열 처리한 후 실온에서 방냉하였다. 방냉 후 발생된 가열감량(cooking loss)의 양을 측정하였다. 측정된 각 시료의 가열감량의 양을 측정하여 시료의 전체무게에 대한 백분율로 표시하였다.

전단력 측정

Liu 등[15]의 방법을 사용하여 가열감량 측정이 끝난 시료를 방냉한 후 시료에서 muscle. Semitendinosus를 분리하여 직경 1 cm의 천공기로 횡축줄 방향으로 천공한 후 Texture analyser (TA-XT2i, Stable Micro Systems, England)를 사용하여 전단력을 측정하였다.

결과 평가 및 통계처리

얻어진 결과들은 SAS software[16]에서 프로그램된 general linear procedures, least square 평균값을 Duncan의 multiple range test법을 사용하여 평가하였다.

결과 및 고찰

총균수의 변화

포장방법과 감마선 조사선량에 따른 계육 저장 중의 총

균수 변화는 Fig. 1과 같다. 모든 처리구에서 저장 기간이 경과함에 따라 총균수는 점차 증가하였다. 감마선 조사직후 비조사구의 총균수는 6.05 log cycle(CFU/cm^2)이었으나, 1, 3, 5 kGy 처리구는 각각 4.10, 2.74, 1.64 log cycle로 감마선 조사선량이 증가함에 따라 총균수가 크게 감소되었으며, 10 kGy 처리구에서는 검출되지 않았다. 포장 방법에 따른 총균수 변화는 함기 포장된 비조사구의 경우 저장 5일째 8.83 log cycle을 나타내었고 1 kGy의 경우 저장 10일째 7.67 log cycle을 나타내어 이미 부패 단계에 있는 것으로 판단되었다. 3 kGy 조사구는 저장 20일에 7.28 log cycle을 나타냈고, 5 kGy 조사구는 저장 30일 째 5.53 log cycle을 나타내어 감마선 조사에 의해 저장기간을 연장할 수 있었다. 진공 포장육의 총균수는 비조사구의 경우 저장 10일 째 이미 7.33 log cycle을 나타내어 함기포장육과 마찬가지로 이미 부패 단계이 이르렀으나, 5 kGy 조사구는 저장 30일 째까지 3.15 log cycle을 나타내어 비조사구에 비해 약 3 log cycle 정도의 초기 미생물 사멸효과를 나타냈고, 조사선량이 증가함에 따라 총균수 증식이 억제됨을 알 수 있었다. 또한 진공 포장육이 함기 포장육에 비해 총균수 증식이 현저히 억제되었으며, 조사선량이 증가함에 따라 총균수 감소가 뚜렷이 관찰되어 감마선 조사 및 진공포장이 계육의 저장 기간을 연장시킬 수 있었다.[17]

대장균수의 변화

식품의 오염 지표균으로 사용되는 대장균의 포장 방법 및 감마선 조사에 따른 생육 변화는 Fig. 2와 같다. 대장균의 초기 오염도는 비조사구에서 3.23 ~ 3.29 log cycle, 1 kGy 조사구에서 1.53 ~ 1.70 log cycle을 나타내었고, 함기포장구보다 진공포장구에서 더 낮은 생육을 나타냈다. 반면, 3 kGy 이상 조사구에서는 조사직후부터 대장균이 검출되지 않았다. 저장기간이 경과되고 부패가 진행됨에 따라 대장균수는 점차 증가하여 저장 30일째에는 함기포장육의 비조사구가 7.07 log cycle을 나타내었으나 1 kGy 조사구는 5.16 log cycle을 나타내어 약 1.9 log cycle 정도의 균수 억제를

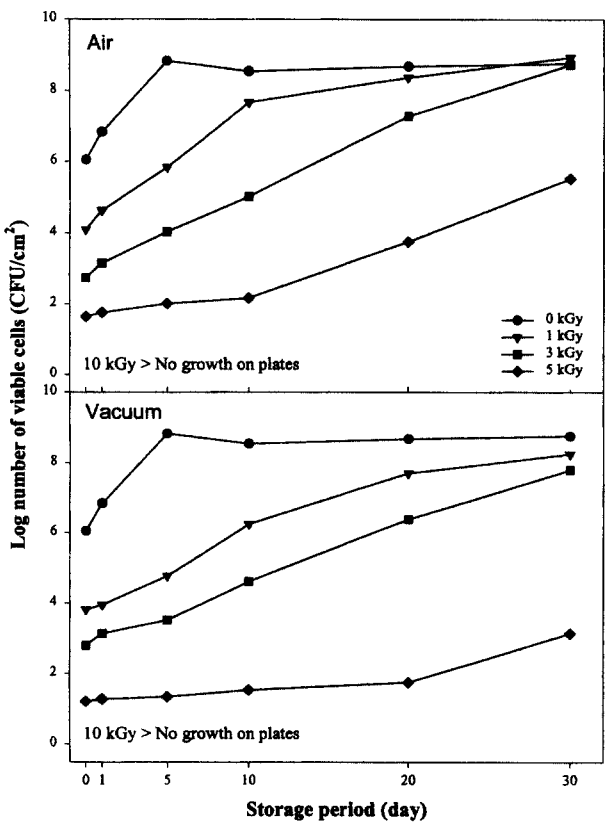

Fig. 1. Effect of packaging methods, air and vacuum, and gamma irradiation on the changes of total aerobic bacteria in chicken legs during storage at 4°C. Chicken legs were packaged and irradiated at the designated dose, 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

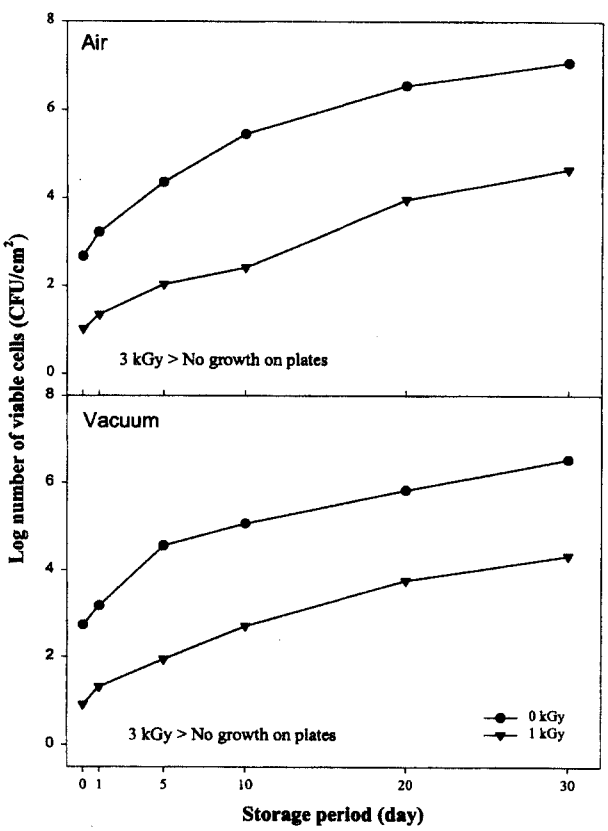

Fig. 2. Effect of packaging methods, air and vacuum, and gamma irradiation on the changes of coliform group in chicken legs during storage at 4°C. Chicken legs were packaged and irradiated at the designated dose, 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

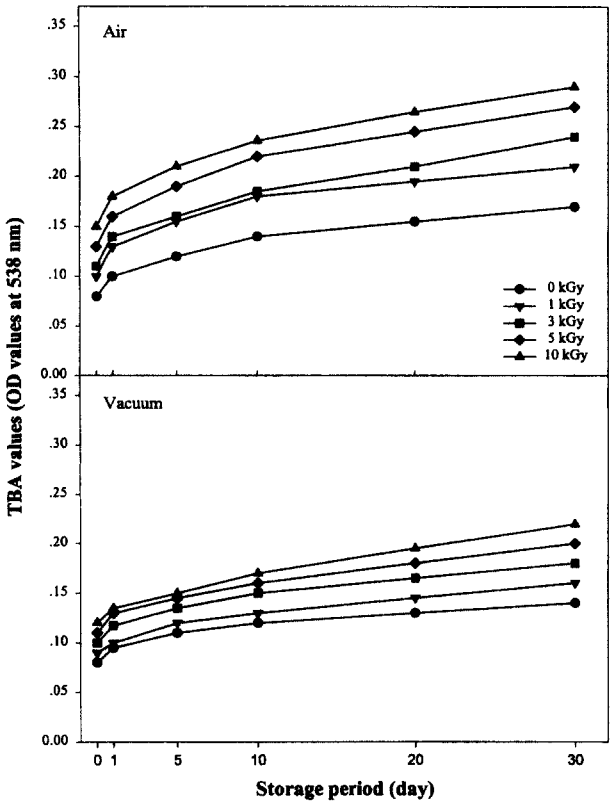

Fig. 3. Effect of packaging methods, air and vacuum, and gamma irradiation on the changes of TBA values in chicken legs during storage at 4°C. Chicken legs were packaged and irradiated at the designated dose, 0, 1, 3, 5 or 10 kGy.

보였다. 또한 진공포장육의 비조사구는 6.54 log cycle, 1 kGy 조사구는 4.33 log cycle을 나타내어 비조사구에 비해 약 2.2 log cycle 정도의 대장균수 억제를 보였으며, 3 kGy 이상 조사구에서는 함기포장에서와 같이 조사 직후부터 대장균이 검출되지 않아 대장균이 감마선에 감수성이 매우 높다는 보고[18]와 일치하였다. 또한 진공 포장육이 함기포장육에 비해 대장균 증식이 억제되어 포장 방법에 따라 미생물 증식 억제 효과가 있음을 알 수 있었다.

TBA가의 변화

계육의 감마선 조사와 포장방법에 따른 TBA가 변화는 Fig. 3과 같다. 감마선 조사구와 비조사구 모두 저장기간이 경과함에 따라 TBA가도 증가하는 경향을 보였다. 또한 조사선량이 증가함에 따라 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 포장방법에 따른 TBA가의 변화에서 진공포장육은 함기포장육에 비해 전반적으로 낮은 함량을 나타냈다. 이는 감마선이 지방산화를 촉진한다는 Smith 등의 보고[19]와 일치하였으며, 진공포장에 의해 식육의 지방산패가 지연되었다는 Bhattacharya 등[20]과 포장재에 따라 TBA가가 변화되며 산소투과성이 낮은 포장재를 이용할수록 지방의 산화정도가 낮게 나타났다는 Kim 등[21]의 보고와도 일치하였다. 이로써 TBA가는 감마선 조사선량이 증가함에 따라 증가하며 포장방법에 따라서도 큰 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

색도 및 육색소 함량의 변화

식육의 색택은 시각적 상품가치면에서 소비자의 기호에 큰 영향을 끼친다.[22] 감마선 조사된 계육 다리살의 포장방법에 따른 Hunter값의 변화는 Table 1과 같다. 감마선 조사시 계육의 표면 색도는 포장 방법에 관계없이 가시적으로 관찰하였을 때 밝은 선홍색을 나타냈으며, 감마선 조사선량의 증가에 비례하는 것으로 관찰되었다. Hunter 값에서는 감마선 조사에 의해 L값과 a값이 크게 증가하였고, 이 값들의 증가는 계육이 밝은 선홍색을 유지하는 것을 설명하여 준다. 식육의 myoglobin은 산화하여 oxymyoglobin을 형성하고 산화 과정이 계속 진행됨에 따라 metmyoglobin을 형성하게 된다. 이 기작은 산소의 존재하에서 일반적으로 일어나지만, 감마선 조사된 식육은 이온화 에너지의 흡수에 의해 Fe^{2+}의 산화가 발생되어 Fe^{3+}의 생성과 함께 감마선 자체에 의한 metmyoglobin의 파괴가 발생된다.[23] 감마선 조사된 계육에서 발견되는 밝은 선홍색은 시료의 내부까지 그 색택을 유지하고 있으며, 저장 기간에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 감마선 조사된 우육에서 발견되는 색택의 변화, 즉 감마선 조사에 의한 암적색으로의 변화[24]와는 다른 양상을 나타냈고, 이것은 근육이 함유한 myoglobin의 함량의 차이와 시료로 사용된 근육부위의 차이에서 나타나는 것으로 판단되며, 또한 10 kGy 이하의 선량에서 감마선 조사된 계육의 색택 개선효과를 시사하고 있다.

Hunter 값의 결과를 육색소의 변화와 비교하기 위하여 heme pigment의 상대적인 함량을 측정하였다. 감마선 조사 직후 진공 포장구와 함기 포장구의 myoglobin과 metmyoglobin 함량은 큰 차이를 나타내지 않았다(Table 1). 그러나, oxymyoglobin의 함량이 조사 선량의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 oxymyglobin의 증가가 감마선 조사된 계육이 밝은 선홍색을 나타내는 것을 뒷받침하여 준다. 저장 중 각 색소의 함량은 큰 차이를 나타내지 않았다.

단백질 용해성, 가열감량 및 전단력의 변화

감마선 조사와 포장 방법에 따른 계육의 단백질 용해성, 가열감량 및 전단력의 변화는 Table 2와 같다. 함기포장구

Table 1. Relative concentration of heme pigments and Hunter's color values of the gamma-irradiated chicken in the condition of air-containing packaging (A) or vacuum-packaging (V)

		Packaging type	Irradiation dose (kGy)				
			0	1	3	5	10
Heme pigment	Myoglobin	A	0.347[1)]	0.362	0.378	0.393	0.403
		V	0.386	0.396	0.404	0.413	0.419
	Oxymyoglobin	A	0.327	0.343	0.364	0.375	0.404
		V	0.282	0.304	0.323	0.344	0.353
	Metmyoglobin	A	0.057	0.059	0.062	0.063	0.064
		V	0.058	0.061	0.062	0.062	0.067
Hunter's color value	Lightness (L)	A	57.52	58.07	58.36	58.48	59.12
		V	56.23	56.46	57.18	57.42	58.35
	Redness (a)	A	11.72	13.63	15.18	16.25	18.23
		V	12.82	14.97	16.74	18.12	19.35
	Yellowness (b)	A	6.23	6.28	6.35	6.51	6.54
		V	5.92	5.95	5.94	5.97	6.07

[1]Samples were tested in triplicate and repeated 5 times. The obtained data were statistically evaluated by SAS program and recognized significant differences in the range of $p<0.05$.

Table 2. Protein solubility (mg/mL), cooking loss (%) and shear force value (Kgf/cm^2) of the gamma-irradiated chicken in the condition of air-containing packaging (A) or vacuum-packaging (V)

	Package type	Irradiation dose (kGy)				
		0	1	3	5	10
Protein solubility	A	4.33 ± 0.23[1)]	4.82 ± 0.21	5.07 ± 0.24	5.23 ± 0.17	5.20 ± 0.25
	V	4.30 ± 0.21	4.40 ± 0.19	4.99 ± 0.18	5.17 ± 0.16	5.22 ± 0.32
Cooking loss	A	15.54 ± 0.14	15.86 ± 0.17	15.92 ± 0.16	15.84 ± 0.21	16.05 ± 0.18
	V	15.92 ± 0.08	16.04 ± 0.23	16.13 ± 0.09	16.19 ± 0.25	16.72 ± 0.08
Shear force	A	4.54 ± 0.21	4.76 ± 0.31	4.80 ± 0.17	4.63 ± 0.27	4.51 ± 0.18
	V	4.72 ± 0.32	4.63 ± 0.24	4.60 ± 0.16	4.55 ± 0.24	4.48 ± 0.16

[1]Samples were tested in triplicate and repeated 5 times. The obtained data were statistically evaluated by SAS program and recognized significant differences in the range of $p<0.05$.

와 진공포장구 모두에서 육단백질의 용해성이 감마선 조사에 의해 증가되는 경향을 나타냈다. 계육은 약 70~75% 정도의 수분을 가지고 있으며, 수분은 대부분 유리수 및 고정수의 형태로 근육내에 존재한다. 근육내 고정수와 결합수는 단백질과 결합되어 있으며, 결합형태와 양에 따라 계육의 물성학적 특성에 영향을 미친다. 감마선 처리에 의해 육단백질의 변화가 발생된다는 연구결과 등에 비추어볼 때 단백질의 변화는 결합되어 있는 물과의 반응에도 영향을 미칠 것이다.[25-27)]

계육의 가열감량은 감마선 조사에 의해 다소 영향을 받는 것으로 나타났고, 포장방법에서는 함기포장에 비해 진공포장구의 수분 손실이 더 많은 것으로 나타났으나, 두드러진 차이를 나타내지는 않았다. 근육내 수분의 손실은 일반적으로 저장온도와 포장방법에 따라서 차이가 있다. 진공포장의 경우 함기포장보다 약간 더 많은 수분이 손실된다. 이러한 결과로 볼 때, 계육에 오염된 병원성 미생물의 완전살균선량인 5 kGy까지의 감마선 조사는 계육의 수분손실에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.[1,8)]

감마선 조사가 계육의 전단력에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 진공포장구의 경우에서 조사선량의 증가에 따라 다소 감소하는 경향을 보였으나, 통계적인 유의성을 발견할 수 없었다. 감마선 조사에 의한 적색육(돈육, 우육)[24,28)]의 연도개선 효과와는 다르게 가금육의 경우 빠른 사후 경직의 해제와 조직자체의 특성이 근육의 경도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.[8)]

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

국문요약

감마선을 조사시킨 계육의 저장성을 살펴보기 위하여 4°C에서 포장방법(함기, 진공)을 달리하여 30일간 저장하면서 총균수, 대장균수, TBA가, 육단백질 용해성, 가열감량 및 전단력값의 변화를 시험하였다. 계육에 오염된 미생물수는 감마선 조사에 의해 감소하였고 이는 조사선량이 증가함에 따라 현저하게 나타났다. 함기포장시보다 진공포장시에 균 증식 억제효과는 더욱 뚜렷하였다. 저장 중 TBA가는 진공포장구에서 보다 함기포장구에서 더 높은 값을 나타내었다. 감마선 조사선량에 의존하여 L값과 a값이 유의적으로 증가되었으며, 저장 기간이 경과하여도 선홍색을 유지하였다. 육색소 중 oxymyoglobin의 함량이 조사선량이 높아짐에 따라 증가하였다. 육단백질 용해성은 감마선 조사에 의해 다소 증가하였고, 가열감량과 전단력의 변화는 없는 것으로 나타났다. 결론적으로 계육 품질의 저하 없이 감마선 조사와 진공 포장 방법의 병행으로 계육의 저장성을 연장시킬 수 있었다.

참고문헌

1. WHO: Report of the WHO/WAVFH round conference on the present status of the *Salmonella* probelm (prevention and control), Bilthoven, The Netherlands 6-10 Oct. 1980, VPH/81/27 (1981).
2. Taub, I.A., Robbins, F.M., Simic, M.G., Walker, J.E. and Wierbick, E.: Effect of irradiation on meat proteins. *Food Technol.* **33**, 184-193 (1979).
3. Lee, M., Sebranek, J. and Parrish, F. C. Jr.: Accelerated postmortem ageing of beef utilizing electron-beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.*, **61**, 133-136, 141 (1996).
4. Fox, J.B.Jr., Lakritz, L. Hampson, J., Richardson, R., Ward, K. and Thayer, D.W.: Gamma irradiation effects on thiamin and riboflavin in beef, lamb, pork, and turkey. *J. Food Sci.*, **60**, 596-603 (1995).
5. Thayer, D.W.: Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol.*, **48**, 58-67 (1994).
6. Kang, I.J., Kwak, H.J., Lee, B.H., Kim, K.H., Byun, M.W. and Yook, H.S.: Genotoxicological and acute toxicological safeties of gamma irradiated beef. (in Korean). Korean *J. Food Sci. Technol.*, **30**, 775-780 (1998).
7. Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry. (in Korean) *Food Sci. Ind.*, **30**, 89-100 (1997).
8. IAEA: Irradiation of poultry meat and its products. A compilation of technical data for its authorization and control. *ICGFI* on the *FAO/IAEA/WHO*, **IAEA-TECDOC-688** (1993).
9. Kotula, A.W.: Variability in microbiological samplings of chickens by the swab method. *Poultry Sci.*, **45**, 233-236 (1966).
10. Turner, E.W., Paynter, W.D., Montie, E.J., Bessert, M.W., Struck, G.M. and Olson, F.C.: Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *Food Technol.*, **8**, 326-330 (1954).
11. Krzywichi, K.: The determination of heme pigments in meat. *Meat Sci.*, **7**, 29-36 (1982).
12. Wagner, J.R. and A on, M.C.: Effect of frozen storage on protein denaturation in bovine muscle. II. Myofibrillar ATPase activity and differential scanning calorimetric studies. *J. Food Technol.*, **21**, 9-18 (1986).
13. Hill, H.D. and Straka, J.G.: Protein determination using bicinchoninic acid in the presence of sulfhydryl reagents. *Anal. Biochem.*, **170**, 203-208 (1988).
14. Seideman, S.C., Carpenter, Z.L., Smith, G.S. and Hork, K.E.: Effect of degree of vacuum and length of storage on the physical characteristics of vacuum packaged beef wholesale cut. *J. Food Sci.*, **41**, 732-735 (1976).
15. Liu, A., Nishimura, T. and Takahashi, K.: Structural weakening of intramuscular connective tissue during post mortem ageing of chicken Semitendinosus muscle. *Meat Sci.*, **39**, 135-142 (1995).
16. SAS: SAS User's Guide, Statistics, 6th edition, SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A. (1988).
17. FAO/WHO/IAEA.: Code of Good Irradiation Practice for Prepackaged Meat and Poultry (to control pathogens and/or extend shelf life). **ICGFI Document No. 4**, Vienna, (1990).
18. Thayer, D.W., Boyd, G., Fox, J.B., Lakritz, L. and Hampson, J.W.: Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Sci.*, **60**, 63-67 (1994).
19. Smith, N.L., Tinsley, I.J. and Bubl, C.E.: The thiobarbituric acid test in irradiationsterilized beef. *Food Technol.*, **14**, 317-320 (1960).
20. Bhattacharya, M., Hanna, M.A. and Mandigo, R.W.: Lipid oxidation in ground beef patties as affected by time-temperature and product packaging parameter. *J.*

Food Sci., **53**, 714-717 (1988).
21. Kim, S.M., Lim, S.D., Park, W.M., Kim, Y.S., Kim, Y.B. and Kang, T.S.: A study on the estabilishment of shelf-life of imported beef according to packaging method. *Korean J. Anim. Sci.*, **32**, 413-416 (1990).
22. Jhu, L.G. and Brewer, M.S.: Discoloration of fresh pork as related to muscle and display conditions. *J. Food Sci.*, **63**, 763-767 (1998).
23. Clarke, R. and Richards, J.F.: Effect of γ-irradiation on beef myoglobin. *J. Agr. Food Chem.*, **19,** 170-174 (1971).
24. Yook, H.S.: Effect of gamma irradiation on the microbiological, biochemical, morphological, nutritional, toxicological and food processing characteristics of beef. Ph.D. Thesis, Chungnam National Univ., Korea (1999).
25. Filali-mouhim, A., Audette, M., St-louis, M., Thauvette, L., Denoroy, L., Penin, F., Chen, X., Rouleau, N., Le Caer, J.P., Rossier, J., Potier, M. and Le Maire, M.: Lysozyme fragmentation induced by γ-radiolysis. Int. *J. Radiat. Biol.*, **72**, 63-70 (1997).
26. Kume, T. and Matsuda, T.: Changes in structural and antigenic properties of proteins by radiation. *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 225-231 (1995).
27. Hajos, G., Matrai, B., Szerdahelyi, E. and Orsi, F.: Differences in the electrophoretic patterns of soluble pork proteins as a consequence of pig rearing conditions. *Meat Sci.*, **41**, 77-87 (1995).
28. Horowits, R., Kempner, E.S., Bisher, M.E. and Podolsky, R.J.: A physiological role for titin and nebulin in skeletal muscle. *Nature*, **323**, 160-164 (1986).
29. Yook, H.S., Lee, J.W., Lee, K.H., Kim, M.K., Song, C.W. and Byun, M.W.: Effect of gamma irradiation on the microstructure and anaerobic metabolism of post-mortem bovine muscle. *J. Sci. Food Agric.*, **JSFA 446/1998**, In Press (1999).