KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 31, No. 3, pp. 746~750 (1999)

전자선 조사에 의한 국내산 신선 돈육의 미생물학적 및 관능적 특성 변화

민중석 · 김일석* · 이무하
서울대학교 농업생명과학대학 동물자원과학과
*한국육류수출입협회

Effects of Electron Beam Radiation on the Microflora and Sensory Characteristics of Pork Loin

Joong-Seok Min, Il-Seok Kim* and Moo-Ha Lee
Department of Animal Science & Technology,
College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University,
**Korean Meat Trade Association*

Abstract

The effects of electron-beam irradiation on the microbial and sensory qualities of pork loins were studied. The pork loins were aerobically packed in polyethylene films and exposed to absorbed doses of electron-beam at 0, 0.5, 1 and 2 kGy in ambient temperature. All samples were stored at 4±1°C. As an irradiation dose increased, decontaminating effects increased in terms of total microbal count, lactic acid bacteria and psychrotrophs during storage. All difference degrees in the triangle test were very low levels. In the descriptive analysis, Low dose irradiation did not affect aroma, off-flavor and acceptability in fresh and cooked meats.

Key words: electron-beam irrradiation, triangle test, microbial and sensory quality, descriptive analysis

서 론

식생활 수준의 향상과 더불어 소비자들은 품질에 많은 관심을 기울이고 있으며, 특히 식육에 있어서 품질은 관능적 품질, 영양적 품질 및 위생적 품질로 구분할 수 있다[1]. 국민 소득의 증가로 최근 들어 소비자들은 식육에 관련된 품질 중 위생적 품질에 많은 관심을 기울이고 있다. 더욱이 오늘날 식육은 과거 냉동육 상태로 주로 유통되다가 식육시장의 전면 개방과 더불어 냉장육 유통으로 전환되는 시점이기에 식육의 위생적 생산은 매우 커다란 의미를 지닌다. 병원성 미생물, 특히 *E. coli* O157:H7에 의한 식중독은 사회적으로 커다란 문제를 일으키고 있는데, AMIF[2]에서는 조사된 소비자들의 43%가 식품의 안전성에 상당히 관심을 갖고 있다고 보고하였다.

Corresponding author: Moo-Ha Lee, Department of Animal Science and Technology, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

전자선 조사는 식육 및 여러 식품의 안전성을 확보하고 저장기간을 증가시킬 수 있는 새로운 방법의 하나가 될 수 있다. WHO, IAEA, FAO 등 국제기구에서는 식품에 10 kGy까지 방사선을 조사하였을 경우 인체에 무해하다고 보고하여 그 안전성을 공인하고 있으며, 현재 40여 개국 200여 식품군에서 식품의 안전성 확보를 위해 이용되고 있다[3,4].

Dennis[5]에 의하면 저수준 조사선량은 Salmonella에 오염된 가금육에서 Salmonella의 99.9 %를 사멸시키고, 우육을 오염시킨 *Escherichia coli* O157:H7를 사멸시키는데 큰 효과가 있다고 보고하였다. 또한 근래에 들어서는 전자선 조사에 의한 식품의 물리화학적 변화에 대한 많은 연구가 수행되고 있으며, 일반적으로 전자선을 조사하게 되면 미생물수가 감소하게 되고[6] *Listeria ivanivii*는 1.25 kGy에서 최대의 D10 value를 나타낸다고 하였다[7]. 이와 반대로 전자선량의 증가가 수용성 비타민같은 성분의 변화를 초래할수 있으며[8], 기호성 및 풍미에 좋지 않은 영향을 미치는 단점이 있

다[9]. 따라서 저수준 전자선량을 이용하여 풍미 및 기호성에 영향을 최소를 줄이는 적정수준의 전자선량의 규명이 필요하다 하겠다.

최근 중국에서는 돈육에 0.65 kGy 이하로의 식품조사를 허가하였고, 멕시코에서는 1 kGy 이하의 조사를 허가하였으며, 미국의 경우 1 kGy로의 조사를 허가하고 있다[4]. 국내에서는 원료식품인 건조채소류, 향신료, 건조식육, 감자, 양파, 마늘, 버섯 등에 대한 허가 선량이 규정되어 있을 뿐이다. 따라서 수입자유화로 외국산 전자선 조사 신선육류의 국내 반입이 예상되는바, 신선육류에 대한 적정 수준의 전자선 조사량 연구가 시급하다 하겠다.

이에 본 실험에서는 국내산 돈육의 위생적 품질을 개선하기 위한 방법으로 전자선을 조사하여 전자선 조사 돈육의 미생물학적 특성, 관능적 특성을 조사평가함으로써 전자선의 적정 조사수준을 결정하고자 실시하였다.

재료 및 방법

재료

실험재료는 시중에서 시판되는 돈육의 등심부위를 이용하였으며, 등지방은 완전히 제거한 후, 일정한 두께(10 cm)로 절단하여 전자선 조사시료로 사용하였다.

전자선 조사 및 저장

실험재료의 전자선 조사는 호기적 조건하에서 폴리에틸렌 필름으로 포장, 삼성중공업(주) 중앙연구소 내 전자선 가속기를 이용하여 실온에서 1 MeV의 에너지 수준으로 0.5, 1 및 2 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 전자선은 투과도(4 mm)와 균일한 조사를 위하여 윗면과 아래 면을 각각 1회씩 조사하여였다. 전자선 조사 시료는 비조사 대조시료와 함께 4±1°C의 냉장상태로 저장하며 실험에 이용하였다.

생균수 계수

APHA[10]의 Swab contact method를 수정하여 시료에서 미생물을 채취하였다. 미생물의 채취를 위해서는 면적이 10 cm^2인 주형판을 이용하였다. 총균수는 위의 시료액 1 mL을 Aerobic Count PetrifilmTM (Microbiology Products 3M Health Care; AOAC[12])에 분주하여 37°C에서 2일간 배양한 후 군락수를 colony forming unit (CFU)/cm^2로 계수하였다. 내냉성균은 중온성균수와 마찬가지로 Aerobic Count PetrifilmTM (Microbiology Products 3M Health Care; AOAC[11])에 1 mL 분주하여 4±1°C에서 14일간 배양한 후 colony forming unit (CFU)/cm^2로 계수하였다. 젖산균수는 5.5% Lactobacilli MRS broth (DIFCO Laboratories, USA), 0.0002% sodium azide (Showa Chemicals, Japan), 1.7% Bacto-agar (DIFCO Laboratories, USA)로 구성된 고체평판배지에 시료액 1 mL을 분주하여 37°C에서 2일간 배양한 후 colony forming unit (CFU)/cm^2로 계수하였다.

관능적 품질검사

관능검사는 20명의 관능요원에 의해 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)으로 신선돈육과 조리한 돈육(심부온도 70°C)을 대상으로 실시하였다[12].

삼점검사(Triangle test)로는 같은 두 시료와 다른 한 시료를 함께 주고 다른 것을 골라내는 방식으로 진행하여 전자선 조사를 하지 않은 대조구와 0.5, 1, 2 kGy수준으로 전자선을 조사한 처리구를 2종류씩 짝을지어(0~0.5, 0~1, 0~2, 0.5~1, 0.5~2, 1~2) 총 6개의 조합으로 비교하였다. 이중 각 조합에서 시료간의 차이를 구분한 경우가 10이상인 경우에 한하여 식별강도를 구할 수 있었다. 각 식별강도는 낮음(slight), 보통(moderate), 많음(much), 매우 많음(extreme)에 각각 1, 2, 3, 4 점을 준 후 각각을 선택한 사람의 수를 곱한 다음 이것을 전체 맞춘 사람 수로 나누어 수식화 하였다. 선호도 조사는 두 종류의 시료중 다른 하나를 구별할 수 있었던 검사요원의 수를 나눈 값으로 표시하였다.

척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)은 신선육의 경우 향기, 불쾌취, 색 그리고 기호성을, 조리육에서는 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성과 기호성을 낮음(slight), 보통(moderate)그리고 강함(extreme)으로 나누어 각각에 1~3, 4~6 그리고 7~9의 점수를 선택하도록 하였다.

통계분석

통계 분석을 위해 위의 실험을 미생물에 대한 실험은 3반복을 수행하였으며, 관능검사의 경우 20반복을 수행하였으며, SAS[13]통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 Duncan test를 수행하였다.

결과 및 고찰

생균수 변화

전자선을 조사된 돈육 등심의 저장 중 총균수, 내냉성균 및 젖산균의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 총균수

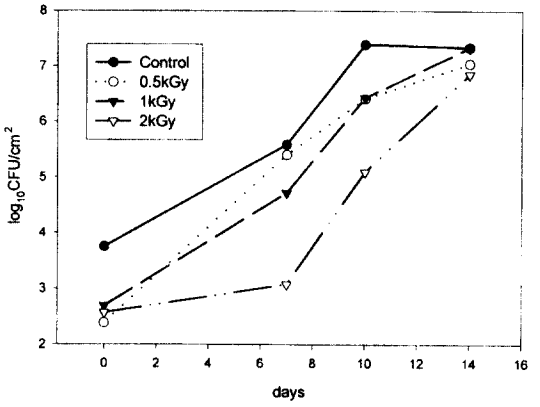

Fig. 1. Changes of total plate counts of pork loins irradiated with electron beam.

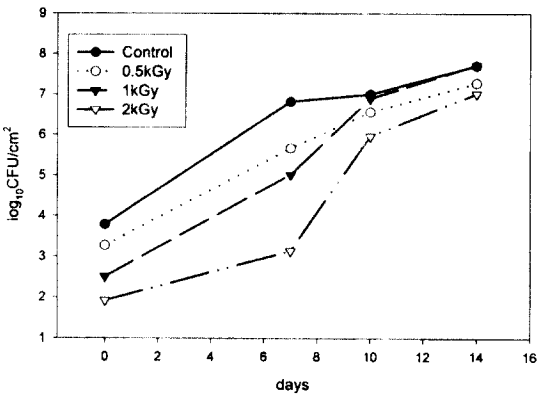

Fig. 2. Changes of psychrotrophs of pork loins irradiated with electron beam.

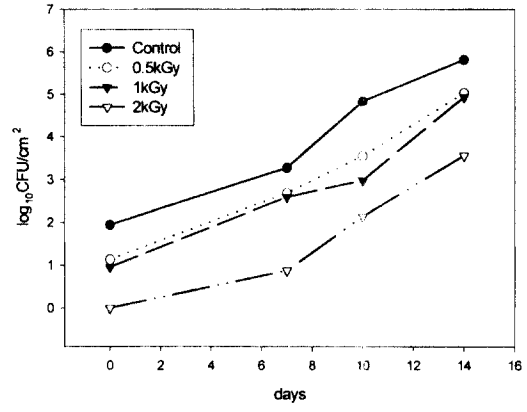

Fig. 3. Changes of lactic acid bacteria of pork loins irradiated with electron beam.

의 경우, 저장 10일 째에 비조사 돈육의 부패 기준인[14,15] 10^7 CFU (colony forming unit)/cm^2을 이미 넘는 것으로 나타났다. 일반적으로 전자선은 감마선에 비하여 투과력이 낮은 것으로 보고되고 있는데[16], 식육의 경우 미생물에 의한 오염은 표면에서 주로 이루어지기 때문에 전자선 조사를 통해서도 식육에서 미생물의 사멸 또는 생장 억제효과를 나타내고 있다. 또한 돈육 등심을 이용한 민 등[17]의 결과와 비교하여 볼 때 감마선 조사한 경우보다 그 효과가 큰 것으로 나타났다. 초기 미생물수준도 전자선 조사 돈육 등심에서 10^3 CFU/cm^2미만의 결과를 보인 반면 비조사 돈육 등심은 10^3 CFU/cm^2를 초과하여 가장 높은 수준을 나타내었다. 저장기간 동안 조사선량이 높아질수록 미생물의 감소정도는 크게 나타났으며, 2 kGy 수준으로 조사한 경우 저장기간 7일 전까지는 10^3 CFU/cm^2미만의 수준을 유지하며, 저장기간동안 가장 낮은 미생물 수준을 보였다. 저장 7일째에 0.5 kGy 수준으로 조사한 돈육 등심에서 10^5 CFU/cm^2이상으로 1 kGy조사 수준보다 높았으나, 저장 초기와 10~14일에서는 0.5 kGy가 더 낮았다. Luchsinger 등[18]은 전자선을 조사한 돈육을 3°C, -17°C에서 각각 저장하였을 때 모두 조사선량이 높아질수록 미생물의 성장억제 효과가 높았다고 보고와 일치하지 않았다.

저장중 돈육 등심의 내냉성균에 의한 부패수준(Fig. 2)은 일반적으로 10^7 CFU/cm^2로 알려져 있다[14,15]. 본 연구 결과에 의하면 저장기간 10일 이전까지는 모든 시료에서 내냉성 미생물에 의한 부패수준을 넘지는 않았으나, 그 이후에는 비조사 시료와 1 kGy수준을 조사한 돈육 등심의 경우 부패수준까지 도달하였으며, 0.5 kGy를 조사한 시료에서는 14일이 지나면서 부패수준에 도달하였다. 2 kGy의 경우에는 대략 저장기간 15일 정도가 지나야 부패수준에 도달할 것으로 나타났다.

젖산균의 경우(Fig. 3) 부패수준인 10^8 CFU/cm^2에 이르는 기간이 저장 14일이 지나도록 조사 시료에서나 비조사 시료에서 모두 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 민 등[17]의 감마선 조사에 의한 신선 돈육의 젖산균 변화와 유사하였다. 저장기간동안 모든 시료는 일정한 증가추세를 보였고, 그중 전자선을 조사하지 않은 돈육 등심의 경우 초기 젖산균수가 10^2 CFU/cm^2 미만으로 가장 높았고, 저장기간동안 전자선을 조사한 시료들보다 높은 미생물 수준을 나타내었다. 즉, 0.5 kGy이상으로 조사한 경우 호기성 중온성균수, 젖산균수 및 내냉성균수가 전자선 조사를 하지 않은 경우보다 일반적으로 낮게 유지될 수 있어 저장기간을 증가시키는 것으로 판단된다.

관능검사

조리육과 신선육의 삼점검사 결과는 Table 1과 같다. 각각 6가지 조합의 식별강도가 1.00에서 2.27로 나타나 대부분의 식별강도가 낮거나(slight) 보통(moderate) 수준이었다. 조리육의 경우 전자선 수준이 증가하는 조합에서 신선육보다 식별강도가 낮은 것은 조리 과정 중 전자선 조사취에 영향을 미치는 풍미물질이 휘발되었기 때문인 것으로 판단된다. 결국 저수준 전자선 처리가 식별강도에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

Table 2는 전자선 수준의 증가가 신선육에 있어 향기, 불쾌취, 육색 그리고 기호성에 미치는 영향을 조사한 것이다. 육색에 있어 대조구와 2 kGy의 육색구분이 되지 않은 것으로 나타났다($P<0.05$). 기호도에 있어 대조구에서 5.11로 가장 높은 선호도를 나타났으며 다음으로 0.5 kGy에서 4.81, 2 kGy에서 4.51 그리고 1 kGy에서 4.22의 순으로 나타났다. 결과적으로 2 kGy까지 전자선량의 증가하여도 향기, 불쾌취, 육색 그리고 기호성에 별영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 3은 전자선 수준의 증가가 조리육에 있어서 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성 그리고 기호성에 미치는 영향을 조사한 것이다. 전체적으로 저수준의 전자선 수준의 증가가 향기, 풍미, 불쾌취, 기호성에 별영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

이는 Luchsinger[9] 등이 돈육에 2.5 kGy까지의 저수준 전자선 조사가 신선육 및 조리육에 있어 향기, 풍미 그리고 불쾌취에 별영향을 미치지 않는다는 결과와 일치하였다. 그러나 연도와 다즙성은 전자선 수준의 증가시 약간 감소하는 경향을 나타내었다($P<0.05$).

이상의 결과 미생물의 성장억제효과는 2 kGy 이하의 수준으로 전자선을 조사하였을 때 저장기간이 증가하였고, 관능검사의 경우 삼점검사에 있어 전체적으로 대조구와 전자선 처리구간의 식별강도가 낮음(slight)혹은 보통으로 나타났며, 척도묘사에 있어서도 전자선 증가가 돈육의 품질에 별영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 1. Degree of difference and acceptability in triangle test

	Pair	Degree of difference	Acceptibility
Cooked pork loin	0-0.5	1.88	6:3
	0-1	1.70	10:0
	0-2	1.63	3:5
	0.5-1	2.25*	5:7
	0.5-2	2.00	4:4
	1-2	2.40	9:1
Fresh pork loin	0-0.5	1.88*	7:1
	0-1	2.27*	10:1
	0-2	1.67	4:2
	0.5-1	1.00	3:0
	0.5-2	1.00	1:0
	1-2	1.50	3:3

*$P<0.05$.

Table 2. Descriptive analysis data[1)] with scaling of fresh pork loins irradiated with electron beam

Irradiated Dose \ Items	Aroma	Off-flavor	Color*	Acceptability
0 kGy	5.01±1.59	3.09±1.82	5.13±1.44[a]	5.11±1.83
0.5 kGy	5.65±1.81	4.54±2.52	4.59±1.02[ab]	4.81±1.57
1 kGy	5.43±1.90	4.28±2.44	3.79±1.01[b]	4.42±1.37
2 kGy	5.91±1.87	4.89±2.31	4.85±1.63[a]	4.51±1.76

[1)]Mean±standard deviation.
[a-b]Means within the same column with different superscrits are significantly different ($P<0.05$).

Table 3. Descriptive analysis data[1)] with scaling of cooked pork loins after irradiation with electron beam

Irridated Dose \ Item	Aroma	Flavor	Off-flavor	Tenderness*	Juiceness*	Acceptability
0 kGy	4.79±1.41	5.39±1.25	3.07±1.95	6.72±1.47[a]	5.95±1.68a	5.48±1.25
0.5 kGy	5.38±0.85	5.65±1.32	3.28±2.29	5.49±1.51[b]	5.11±1.59ab	5.71±1.89
1 kGy	5.64±1.34	5.68±1.41	3.48±2.24	5.78±1.79[ab]	5.26±1.52ab	4.85±1.87
2 kGy	5.31±1.60	5.11±1.53	3.19±2.21	4.81±1.47[b]	4.37±1.31b	4.69±1.28

[1)]Mean±standard deviation.
[a-b]Means within the same column with different superscrits are significantly different ($P<0.05$).

요 약

본 실험은 전자선조사가 돈육등심의 미생물학적 관능적 특성에 영향을 미치는 연구로써 돈육등심부위를 사용하여 호기적 조건하에서 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 전자선 가속기를 이용(1 MeV) 총 흡수선량이 0.5, 1, 2 kGy가 되도록 하여 4±1°C에서 저장하며 실험을 수행하였다. 전자선 조사선량의 증가가 총균수, 내냉성균수 그리고 젖산균수의 억제 효과를 보였다. 관능검사에 있어 삼점검사의 경우 전자선량의 증가하여도 처리구간의 식별강도가 낮게 나타났으며, 척도묘사의 경우 신선육의 향기, 불쾌취, 육색 그리고 기호성에 별 영향이 없었으며, 조리육에 있어도 약간의 연도와 다즙성의 저하를 가져왔으나 향기, 풍미, 불쾌취, 기호성에 별영향을 미치지 않았다. 이상을 종합해 볼 때, 전자선에 대한 소비자들의 인식을 새롭게만 한다면 1 kGy 이하로 조사할 경우 위생적으로 저장기간을 연장시킬 수 있는 신선 돈육의 생산이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 농림부의 농림수산특정연구과제 연구비로 수행하였기에 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Lee. M. H.: Understanding of the meat quality through meat product chain in korean. Sunjin-munhasa. p.11-14 (1995)
2. A.M.I.F.: A study of consumers' awareness, knowledge and attitudes toward the process of irradiation. Am. Meat Inst. Found., Arlington, VA., (1993)
3. Murano, E.A.: Irradiation of fresh meats. *Food Technol.*, **49**(12), 52-54 (1995)
4. Kun, J.H.: Present conditions of international admission on food irradiation and the prospection of their practical use in korean. *Food industry*, **133**, 18-49 (1996)
5. Dennis G.O.: Irradiation of food. *Food Technol.*, **52**(1), 56-62 (1998)
6. Shamsuzzaman, K., Chuaqui-offermanns, N., Lucht, L., Mcdougall, T. and Borsa, J.: Microbiological and other characteristics of chicken breast meat following electron-beam and sous-vide treatments. *J. Food Prot.*, **55**, 528-533 (1992)
7. Rodrigo, T.R., Elsa, A.M. and Dennis, G.O.: Survival and injury of Listeia monicytogens, Listeria innocua and Listeria ivanovii in ground pork following electron beam irradiation. *J. Food Prot.*, **59**, 596-600 (1996)
8. Olson, D,G.: Irradiation of food. *Food Technology.*, **52**(1), 56-62 (1988)
9. Luchsinger, S.E, Kropf. D.H., Garcia zekpeda. C.M., Chambers IV, E, Hollingsworth, M.E., Hunt, M.C., Marsden, J.L., Kastner, C.L. and Kuecker, W.G.: Sensory analysis and consumer acceptance of irradiated boneless pork chops. *J. Food. Sci.* **61**(6), 1261-1226 (1996)
10. A.P.H.A.: Standard Methods for the Examination of Dairy Products. 15th ed., ed. G.H. Richardson. Am. Pub. Health Assoc., Washington, D.C., (1985)
11. A.O.A.C.: Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists., Washington, D.C., (1995)
12. Kim, G.O., Lee, Y.C.: The foof sensory test in korean. hakyunsa, p96-193 (1995)
13. SAS. SAS/STAT Software for PC. Release 6.11, SAS Insititute Inc., Cary, NC, U.S.A. (1995)
14. Ayres, J.C.: The relationship of organisms of the genus Pseudomonas to the spoilage of meat, poultry and eggs. *J. Appl. Bacteriol.*, **23**, 471-476 (1960)
15. Hanna, M.O., Smith, G.C., Hall, L.C. and Vanderzant, C.: Role of Hafnia alvei and Lactoacillus species in the spoilage of vacuum packaged strip loin steaks. *J. Food Sci.*, **42**, 569-573 (1979)
16. Hayashi, T.: Comparatie effectiveness of gamma-rays and electron beams in food irradiation. In Food Irradiation, Ed. Stuart Thorne. Elsevier Applied Science. London and New York, p.169-206 (1991)
17. Min, J.S., Lee, M.H., Kim, I.S. and Jung, M.S.: Changes in microflora, physicochemical and sensory characteristics of korean fresh pork loins with gamma radiation. Korean Journal of animal science, **39**, 567-576 (1997)
18. Luchsinger, S.E., Kropf, D.H., Garcia zepeda, C.M., Chambers iv, E., Hollingsworth, M.E., Hunt, M.C., Marsden, J.L., Kastner, C.L. and Kuecker, W.G.: Sensory analysis and consumer acceptance of irradiated boneless pork chops. *J. Food Sci.*, **61**, 1261-1266 (1996)

(1998년 11월 3일 접수)