

최 종
연구보고서

664
L293 K

저 수준 전자선 살균을 이용한
농축산물의 위생적 품질 개선기술개발

Technology development for improving the hygienic
quality of agricultural and livestock products by
low-dose electron-beam irradiation

서울대학교 동물자원과학과
(한국식품위생연구원, 경북대학교 식품공학과)

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “저 수준 전자선 살균을 이용한 농축산물의 위생적 품질개선기술개발” 과제 최종보고서로 제출합니다.

1998 . 12 . 29 .

총괄기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 이 무 하

연 구 원 : 민 중 석

연 구 원 : 황 성 규

협동연구기관명 : 한국식품위생연구원

협동연구책임자 : 정 명 섭

위탁연구기관명 : 경북대학교

위탁연구책임자 : 권 중 호

요 약 문

I. 제 목

저 수준 전자선 살균을 이용한 농축산물의 위생적 품질개선기술개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

생활수준의 향상과 사회환경 변화로 현대 소비자들은 식품품질 중에서 특히 안전성 및 위생적 품질에 대한 관심의 증대로 선진국들은 자국에서 생산되는 것뿐만 아니라 수입식품의 위생적 품질 강화에 노력하고 있다. 국내에서도 WTO체제하의 농축산물 수입 전면 개방화 시대를 맞이하여 국내산 농축산물의 위생적 품질개선으로 소비자들의 욕구를 충족시킴으로써 국내에서 수입 농축산물과의 경쟁력을 강화시킬 필요가 대두되고 있다. 더욱이 유통기한 자율화로 식품의 위생적 품질의 중요성이 더욱 강조되고 있고, 지구환경오염방지를 위하여 식품살균방법으로 광범위하게 쓰여진 훈증소독이 세계적으로 사용 금지되고 있는 추세이나 대체기술의 개발이 부진한 실정이다. 그러나, 농축산물 유통은 대부분이 소규모업체가 주체가 되어 수행되어지기 때문에 위생적 품질을 개선시킬 기술개발이 곤란하여 국가적 차원의 연구개발이 필요하다. 이에 본 연구는 선진국에서 연구개발이 활발한 전자선(electron beam)의 적용 연구를 수행하면서 새로운 에너지원으로서의 이용가능성을 검토하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서 총괄기관인 서울대학교에서는 1차년도에 돈육을 원료육으로하고, 2차년도에서는 우육을 3차년도 연구과정에서는 계육을 이용하여 각각에 감마선, 전자선 조사를 하여 실험에 이용하였다. 감마선 조사는 신선육 상태의 원료육을 호기적인 조건에서 폴리에틸렌 필름으로 포장한 원료육을 한국원자력연구소 내 선원 100,000 Ci의 ^{60}Co 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 1kGy의 선량률로서 0.5kGy, 1kGy, 2kGy 수준으로 감마선 조사를 실시하고, 전자선 조사의 경우 감마선과 같은 조건의 원료육을 이용하여 삼성중공업(주)중앙연구소 내 전자선 가속기를 이용하여 실온에서 1MeV의 에너지 수준으로 총 흡수선량이 0.5kGy, 1kGy, 2kGy의 총 흡수선량을 얻도록 전자선 조사를 하였다. 1차년도 연구에서는 이런 방법으로 감마선 조사된 신선돈육과 전자선 조사된 신선돈육을 일정한 저장기간에 따라 그 미생물(호기적 중온성균, 젖산균, 내냉성균)의 수준을 조사하였고, 저장중 지방산패정도를 조사하기 위하여 TBA가를 측정하였고, 변화하는 육색은 Chroma미터를 이용하여 CIE system의 L^* , a^* , b^* 값을 측정하였으며, pH는 포터블 pH미터를 이용하여 분석하였다. 감마선과 전자선 조사시 조사취의 발생여부와 그외 관능적인 특성변화를 비교하기 위한 관능검사는 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)으로 나누어 실시하였다. 2차년도 연구에서도 1차년도의 조사항목을 기준으로 감마선 조사된 우육과 전자선 조사된 우육의 각각의 미생물적, 이화학적, 관능적특징을 분석하여 조사를 하지 않은 우육과 감마선 조사한 우육, 전자선 조사된 우육의 각각의 조사수준별 차이를 비교 분석하였다. 3차년도에서도 마찬가지로 계육을 이용하여 감마선 조사, 전자선 조사를 각각 0.5kGy, 1kGy, 2kGy 수준별로 조사하여 1, 2차년도에서 분석한 항목을 기준으로 감마선이나 전자선 처리를 하지 않은 계육과 전자선 조사된 시료를 각각 비교분석하였고, 감마

선 조사된 계육 역시 감마선 조사되지 않은 계육과 비교 분석연구하였다. 협동기관인 한국식품위생연구원에서는 1차년도에 감마선 처리후 고온숙성육의 숙성진행과 미생물의 억제 정도를 물리적, 관능적 특성, 총균수 측정으로 관찰하여 육제품의 저장 및 풍미증진에 적합한 감마선 처리량과 숙성온도를 선정하였다. 2차년도에는 저수준에서 전자선을 조사하여 고온숙성한 한우의 물리·화학적 및 미생물학적 특성을 검토하여 우리나라 축장의 위생실정에 맞는 쇠고기 숙성법을 개발하고, 소비자들이 기피현상을 보이는 방사능 동위원소에 의한 감마선 조사를 대체할 수 있는 위생적인 신선육 처리방법에 대하여 연구하였으며, 3차년도에는 1차, 2차년도 연구사업의 결과를 토대로 하여 감마선 및 전자선 조사가 위생상 문제를 야기할 수 있는 *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*과 같은 주요 병원성 미생물 및 부패미생물의 생장에 미치는 효과를 조사하였다

위탁기관인 경북대학교에서는 식품가공에서 미생물학적 품질관리에 문제점을 내포하고 있는 대표적인 전통 농산건조가공품인 인삼분말류, 고추 및 생강 분말, 장류분말류 등을 대상으로하여 미생물 (호기성 총세균, 대장균, 효모/곰팡이)의 오염 정도를 확인하고 전자선 조사의 살균 효과를 감마선 조사와 비교하였다. 아울러 살균 처리된 시료의 이화학적 (Hunter L, a, b value, 수용성 색소, 인삼 사포닌, 고추 capsanthin/capsaicin, 생강 gingerol, 지방산 조성, 전자공여능, TBA가 등품질관련 성분) 및 관능적 (색, 냄새, 향미 등) 품질을 살균처리 직후와 실온 저장 4개월 후에 각각 평가, 분석하여 살균에 필요한 적정 조사선량을 설정하였다.

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

본 연구개발결과는 첫 번째로 전자선과 감마선을 식육(돈육, 우육, 계육)에 이용했을 때 식육의 위생적 품질을 향상시키며, 신선육의 저장기간 연장에 많은 기여를 할 것으로 예상된다. 국내에서 현재 사용되고 있는 감

마선 조사는 주로 건조·분말식품에만 사용되고 있고, 신선축산물에는 이용되지 않고 있으며 냉장식품에는 사용에 불편한 점이 있는 것으로 보고된다. 방사선 처리 후 식품의 종류에 따라 조사취의 문제가 대두되어 관능적 품질에 변화가 적은 방법을 강구해야한다. 더욱 이 소비자의 반응은 기술적 측면보다는 사회적 측면이 더 강조되는 경향이 있어 식품의 위생적 품질향상을 위해서는 전자선 조사기술의 개발이 필요하겠다. 전자선 조사시설(삼성중공업)을 이용하여 실험한 결과 국내에 도입되어 있는 electron beam accelerator는 1MeV, 40kW인데, 이 수준에서 침투깊이가 너무 낮아 감마선에 비해서 효율이 떨어졌으며, 적어도 5MeV이상의 에너지 수준으로 조사 할 수 있는 electron beam accelerator가 도입되어야 정상적으로 이용이 가능하다. 이에 대한 방안은 국내 식육생산업계에 적용하여 신선육류의 위생적 품질을 획기적으로 개선시킬 수 있으며 산업계에서 적극 수용할 수 있도록 실용화 연구를 거쳐 정부주도하에 전자살균을 실시하여야 할 것이며, 식육생산단지나 농산물산지 부근에 전자살균시설을 설치하여 소비자에게 도달하기전의 손실을 최소화한다.

두 번째로 방사선 조사 식품에 대한 기준·규격이 기재되어 있는 식품공전 공통기준·규격의 개정을 위한 과학적인 근거로써 활용할 수 있으며, 국내 식육 생산업계에 적용함으로써 신선육의 위생수준을 향상시키고, 신선육의 위생처리를 통해 부패에 의한 식량손실을 최소화할 수 있다. 또한 위생적으로 문제가 많은 도살장에서부터 생산된 쇠고기를 감마선이나 전자선과 같은 방사선 조사 처리 후 유통하면 위생적으로 저장기간을 연장할 수 있어 경제적인 이익을 가져올 수 있다. 현재 식품공전상에는 식육에 방사선 조사를 허용하고 있지 않으므로 저수준의 감마선 또는 전자선 조사를 허용하도록 개정하는 데 과학적 근거로 활용할 수 있으며, 또한 본 연구의 기초자료를 이용하여 매우 다양한 식품에 적용하여 식품의 저장성 증진 및 위생 안전성 향상과 식육산업의 활성화에 이바지 할 수 있다고 사료된다.

마지막으로 본 실험에 사용된 건조 분말시료의 미생물 농도는 총세균이 모든 시료에서 $10^5 \sim 10^6$ CFU/g, 대장균군이 백삼, 고추 및 생강 분말에서 $10^2 \sim 10^3$ CFU/g 수준이었고, 효모 및 곰팡이는 생강, 메주, 고추, 백삼 분말의 순으로 $10^1 \sim 10^3$ CFU/g의 수준으로 오염되어 있었다. 전자선의 살균시험에서 대장균군은 5 kGy, 효모 및 곰팡이는 7.5 kGy 조사로써 검출한계 이하로 살균되었다. 호기성 총세균은 5~7.5 kGy 조사로써 2~3 log cycles 정도의 감균효과를 보이면서 인삼 및 향신료는 10 kGy 조사로써 살균이 가능하였으나 장류분말류에서는 더 높은 선량이 요구되었다. 전자선의 살균 특성은 감마선과 유사하였으며, 대장균군 > 효모/곰팡이 > 호기성 총세균의 순으로 방사선 감수성이 높게 나타났다. 여러 선량으로 살균처리된 시료의 이화학적 품질 평가에서 시료의 색도, 색소 및 품질관련 지표성분들은 10 kGy 이상 조사에서 안정하거나 유의적인 변화를 나타내었다. 관능적 품질 평가에서는 10 kGy 이상 조사시 대부분의 시료에서 색깔, 냄새, 맛 등에서 유의적인 차이가 인정되었다 ($p < 0.05$). 그러나 내수 및 수출용 인삼분말류, 혼합향신료, 분말조미식품 등 건조가공품이나 가공부원료의 성분규격이 대장균군 음성, 총세균 10^4 CFU/g 이하로 대부분 규정되어 있음을 감안해 볼 때, 미생물학적 품질관리에 필요한 조사선량은 5~7.5 kGy 범위로 나타났다. 현재 본 연구의 대상이었던 농산 건조가공품의 국내 감마선 조사 허가선량은 7 kGy 또는 10 kGy 이하로 되어 있다. 본 연구에서 동일 범위의 조사선량에서 전자선은 감마선과 유사한 살균효과를 지니고 있음이 확인되었고, 특히 전자선 조사 (10 Mev 이하)의 안전성이 국제적 (FAO/IAEA/WHO, Codex standard)으로 공인된 점을 고려한다면, 본 연구의 결과는 국내 식품공전의 방사선 조사기준 개정과 국내 실용화 기반 확보에 직접 활용되어질 수 있을 것이다.

S U M M A R Y

I. These studies were carried out to examine respectively the effects of gamma irradiation(Co^{60}) and effects of electron beam on the shelf life of pork loins, beef loins and chicken meats. The pork loins, beef loins and chicken meat were aerobically packed by polyethylene films and exposed to a ^{60}Co gamma ray source(100,000 ci) at ambient temperature or exposed to an absorbed dose of 0, 0.5, 1 and 2kGy of electron-beam irradiation at ambient temperatures. The irradiated samples were stored together with the nonirradiated samples at $4\pm 2^{\circ}C$.

For the first year(1996), the study was carried out to examine the effects of gamma irradiation(Co^{60}) or electron beam on the shelf life of pork loins.

In the case of pork loins exposed gamma ray source, 2kGy irradiated one showed the lowest level in total plate count, lactic acid bacteria, and psychotrophs during storage period($P < 0.01$). TBA values were apt to increase as storage periods and irradiation dose increased. Redness(a^* value) increased with irradiation dose and thus irradiated pork looked more reddish. The results of triangle test showed degrees of difference were significantly different between 2.0kGy irradiated pork loin and the others($P < 0.05$), and between nonirradiated and 0.5kGy irradiated treatment. In the results of descriptive analysis with scaling for raw and cooked pork loin, it was observed that nonirradiated pork loin was higher in acceptability than irradiated. Off-flavor was detected less in

nonirradiated pork loin than in irradiated one.

In the case of the pork loins were exposed to a electron-beam, as the irradiation dose increased, effects of the treatments was increased in total plate count, lactic acid bacteria and psychrotrophs. TBA values were apt to increase as the storage period and the irradiation dose increased. VBN value of nonirradiated pork loin was increased rapidly after 7days and them of irradiated treatments showed to increase slowly during storage period. Redness(a*value) and yellowness(b*value) of 2kGy irradiated treatment were lower than them of other treatments as the storage period increased. pH value of nonirradiated pork loin showed to increased slowly at storage period. The results of triangle test showed that the degrees of difference were significant between 0.5kGy irradiated treatments and 1kGy irradiated treatments($P < 0.05$) in the cooked pork loin. In the descriptive analysis with scaling for fresh and cooked pork loin, it was observed that the nonirradiated pork loin was higher in acceptability than the irradiated. In the fresh pork loin, off-flavor was detected more in 2kGy irradiated treatment than in the others.

For second year(1997), the study was carried out to examine the effects of gamma irradiation(Co^{60}) or electron beam on the shelf life of beef loins.

In the case of beef loins exposed to a gamma ray source, as the irradiation dose increased, effects of the treatments was increased in total plate count, lactic acid bacteria and psychrotrophs. The irradiated beef loins was higher than the

nonirradiated ones in TBA values during the storage period($P < 0.001$). In the fresh pork loin, degrees of difference were significant between nonirradiated treatment and 1kGy irradiated treatment($P < 0.001$). In the descriptive analysis with scaling for cooked beef loins, there were no difference between nonirradiated treatment and irradiated treatments in aroma.

In the case of beef loins were exposed to a electron-beam, as the irradiation dose increased, effects of the treatments was increased in total plate count, lactic acid bacteria and psychrotrophs. VBN values of all treatments were apt to appear similar level until 14days and the nonirradiated treatment was higher than the irradiated treatments after 14days. In the cooked beef loins, the degrees of difference were the highest between the nonirradiated and 2kGy irradiated treatment and in the fresh beef loins, the degrees of difference were the highest between 0.5 and 2kGy irradiated treatments($P < 0.05$). In the descriptive analysis with scaling for fresh beef loins, off-flavor was detected more in 2kGy irradiated treatment than in the others.

For the third year(1998), the study was carried out to examine the effects of gamma irradiation(Co^{60}) or electron beam on the shelf life of chicken meats.

In the case of chicken meats exposed to a gamma ray source, as the irradiation dose increased, effects of the treatments was increased in total plate count, lactic acid bacteria and psychrotrophs. At 10 days, TBA values were showed the highest value in 2kGy irradiated one($P < 0.001$), while VBN values were showed the

lowest value in 2kGy irradiated one($P < 0.01$), especially chicken thigh was higher than chicken breast. The result of descriptive analysis with scaling for raw and cooked chicken breast showed that off-flavor intensity in raw meat was decreased as the irradiation dose increased but was increased in cooked chicken breast. The result of triangle test showed that the degrees of difference were significant between 0.5kGy irradiated raw chicken breast and the others($P < 0.05$).

In the case of chicken meats exposed to a electron beam, as the irradiation dose increased, effects of the treatments was increased in total plate count, lactic acid bacteria and psychrotrophs. TBA values of chicken breast were the highest value in 2kGy irradiated treatments and ones of chicken thigh were the highest value in 1kGy irradiated treatments at the early storage period. In the cooked chicken thigh, the degrees of difference were the highest level and were significant between 1kGy and 2kGy irradiated treatments($P < 0.01$). The result of descriptive analysis with scaling for raw and cooked chicken meats showed that off-flavor were the highest level in 2kGy irradiated treatment.

II. These experiments were carried out to investigate the effects of electromagnetic radiation on the physicochemical and microbiological properties of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef aged at 20°C for 35 hr and then refrigerated at 5°C for 8 days.

For the first year (1996), effects of gamma irradiation on the physicochemical and microbiological properties of *Semitendinosus*

muscle of Hanwoo beef aged at 20℃ for 35 hr and then refrigerated at 5℃ for 8 days. Total bacterial count, TBA value, sensory evaluation, meat color, shear force value, and pH of the samples were analyzed. Low dose gamma irradiation did not affect meat color, sensory properties such as flavor, tenderness, juiciness, and total acceptability scores. The radiation and aging treatments accelerated lipid oxidation and color change. However, the aging treatment of beef at 20℃ for 35hr, low number of total bacteria counts could be maintained during 8days storage by the 3.0 kGy irradiation treatment.

For the second year (1997), effects of electron beam irradiation on the physicochemical and microbiological properties of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef aged at 20℃ for 35 hr and then refrigerated at 5℃ for 8 days. Electron beam irradiation did not affect pH and shear force value significantly but samples aged at 20℃ showed slightly better tenderness than other samples($p < 0.05$). While beef samples irradiated with electron beam and/or aged at 20℃ showed lower "a" value than other treatments ($P < 0.05$), there were no significant differences in "L" and "b" values among the samples. Electron beam irradiation and high temperature conditioning at 20℃ could not affect consistently to sensory properties such as flavor, juiciness, overall acceptability of the beef samples. However, the irradiated and aged samples showed higher TBA values than other samples. Total bacterial counts of beef samples stored at 5℃ after irradiation reached 10^7 after 9 days but those of beef samples aged at 20℃ reached that number after 2 days storage. Therefore, low

dose of electron beam irradiation treatment was not effective to reduce microorganisms in beef samples aged at 20 °C.

For the third year (1998), effects of gamma and electron beam irradiation on the survival properties of selected pathogenic and spoilage bacteria in *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef. Beef samples were inoculated with *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, and *S. putrefaciens* and then irradiated at 1.5kGy and 3.0kGy of gamma irradiation and 3.0 kGy and 6.0 kGy of electron beam irradiation. While *E. coli* O157:H7 and *S. putrefaciens* in control samples reached to 10^9 and 10^{10} after 8 day storage, respectively, *L. monocytogenes* did not change significantly. Three microorganisms were not detected after gamma irradiation treatment at both 1.5 and 3.0 kGy. However, number of *E. coli* O157:H7 and *S. putrefaciens* reduced to 10^4 after electron beam irradiation and *L. monocytogenes* was not detected. These results suggested that gamma irradiation was more effective than electron beam irradiation in terms of radurization effect.

III. 1) Project Title

Development of Sterilization Techniques for Tradiational Agricultural Processed-Products Using Electron Beam

2) Objective and Importance of the Project

In the food industries, there have been studies on the

development of alternative technologies and/or techniques to ethylene oxide fumigation which was the best effective sterilization method for dried/ powdered food products since it was banned due to its safety restrictions in 1991 in Korea. Dried agricultural products are liable to be highly contaminated with various microbes, and thus they are normally required to be decontaminated by suitable sterilization methods having non-chemical and non-thermal properties.

Gamma irradiation is recognized as an effective method for sterilizing and disinfesting food and agricultural commodities. In this connection, it has been approved in Korea for about 20 food groups with different purposes within the dose of 10 kGy. However, the misunderstanding on gamma energy, being emitted from the radionuclide sources, leads to the delay of its commercial utilization on foods.

When considered the importance of microbiological quality control in dried agricultural products, further efforts are needed to develop new sterilizing means using another energy sources like electron beam that is mechanically and electrically produced.

3) Scope and Contents of the Project

The populations of contaminated microorganisms, such as total aerobic bacteria, coliforms and yeasts & molds, were enumerated for dried agricultural products including ginseng powders, powdered spices (red pepper and ginger) and powdered meju, kochujang and soybean paste, which are known to have problems with the quality

control in microbiological aspects. Comparative effects of electron beam and gamma irradiation were investigated for the samples during ambient storage for 4 months from the microbiological, physicochemical and organoleptic points of view. The criteria covered microbial decontamination, Hunter parameters(L, a, b), soluble pigments, ginseng saponin, pepper capsanthin and capsaicin, gingerol, fatty acid composition, electron donation ability, thiobarbituric acid value, sensory color, odor and flavor, etc. to pre-establish optimum range of irradiation doses.

4) Results and Proposal for Applications

The sample used showed a higher microbial population, such as $10^5 \sim 10^6$ CFU/g of total aerobic bacteria in all the samples, $10^2 \sim 10^3$ CFU/g of coliforms in white ginseng, red pepper and ginger, and $10^1 \sim 10^3$ CFU/g of yeasts & molds in ginger, meju, red pepper and white ginseng. Irradiation of electron beam reduced the microbial load up to an undetectable level in coliforms by 5 kGy and yeasts & molds by 7.5 kGy. Total aerobic bacterial counts were decreased by 2~3 log cycles with 5~7.5 kGy irradiation. Irradiation at 10 kGy was enough to decontaminate powdered ginseng and spices, but over the dose was required for the other samples. Coliforms were most sensitive to electron beam, followed by yeasts & molds and aerobic bacteria, which was similar to gamma energy.

In physicochemical studies, color, pigments and quality indicative components of the samples were stable or changable when exposed to 10 kGy and/or over. At the same dose levels, changes in

organoleptic color, odor and taste were negligible or insignificant ($p < 0.05$) depending on the samples. However, considering both the legal standards (negative in coliforms, $< 10^4$ CFU/g in total bacterial counts) on microbial loads of the corresponding foods and food ingredients and the above results, 5~7.5 kGy are suitable to be applied for the practical purposes.

Currently, the domestically-approved doses of gamma irradiation were 7 kGy or 10 kGy for these kinds of items used. Furthermore, electron beam showed a very similar to gamma irradiation in its ability to decontaminate powdered-food products at a given dose and its safety on food (less than 10 Mev) was endorsed by FAO/IAEA/WHO and Codex standards. Consequently, the results are expected to be used for both the revision of the Food Codex on food irradiation regulations and the documentation of relevant data on commercial food irradiation in due time.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	31
Chapter 2. The establishment of appropriate dose levels of electron beam for sterilization in fresh meat	39
Section 1. The establishment of appropriate dose levels of electron beam for sterilization in fresh pork loins ..	40
1. The establishment of appropriate dose levels of gamma radiation for sterilization in fresh pork lions	40
a. Content and method of experiment	40
1) Materials	40
2) gamma radiation and storage method	40
3) Changes in microflora characteristics	40
4) Changes in physicochemical characteristics	41
5) Sensory analysis	42
6) Statistics analysis	42
b. Results and discusion	42
1) Changes in microflora characteristics	42
2) Oxidation of fat (TBA values)	46
3) Changes of color	48
4) Changes of pH values	51
5) Sensory analysis	52
2. The establishment of appropriate dose levels of electron beam for sterilization in fresh pork loins	55
a. Content and method of experiment	55
1) Materials	56

2) electron-beam and storage method	56
3) Changes in microflora characteristics	56
4) Changes in physicochemical characteristics	57
5) Sensory analysis	58
6) Statistics analysis	58
b. Results and discusion	58
1) Changes in microflora characteristics	58
2) Changes in physicochemical characteristics (TBA values, VBN values, color, pH)	63
3) Sensory analysis	71
Section 2. The establishment of appropriate dose levels of electron beam for sterilization in fresh beef loins ..	74
1. The establishment of appropriate dose levels of gamma radiation for sterilization in fresh beef loins	74
a. Content and method of experiment	74
1) Materials	74
2) gamma radiation and storage method	74
3) Changes in microflora characteristics	75
4) Changes in physicochemical characteristics	75
5) Sensory analysis	76
6) Statistics analysis	76
b. Results and discusion	76
1) Changes in microflora characteristics	76
2) Changes in physicochemical characteristics	79
3) Sensory analysis	85
2. The establishment of appropriate dose levels of electron beam for sterilization in fresh beef loins	88

a.	Content and method of experiment	88
1)	Materials	88
2)	electron-beam and storage method	88
3)	Changes in microflora characteristics	88
4)	Changes in physicochemical characteristics	89
5)	Sensory analysis	89
6)	Statistics analysis	89
b.	Results and discusion	90
1)	Changes in microflora characteristics	90
2)	Changes in physicochemical characteristics	93
3)	Sensory analysis	98
Section 3.	The establishment of appropriate dose levels of electron beam for sterilization in fresh chicken meats	101
1.	The establishment of appropriate dose levels of gamma radiation for sterilization in fresh chicken meats	101
a.	Content and method of experiment	101
1)	Materials	101
2)	gamma radiation and storage method	101
3)	Changes in microflora characteristics	101
4)	Changes in physicochemical characteristics	102
5)	Sensory analysis	102
6)	Statistics analysis	102
b.	Results and discusion	103
1)	Changes in microflora characteristics	103
2)	Changes in physicochemical characteristics	106
3)	Sensory analysis	109

2. The establishment of appropriate dose levels of electron beam for sterilization in fresh chicken meats	113
a. Content and method of experiment	113
1) Materials	113
2) electron-beam and storage method	113
3) Changes in microflora characteristics	114
4) Changes in physicochemical characteristics	114
5) Sensory analysis	115
6) Statistics analysis	115
b. Results and discusion	115
1) Changes in microflora characteristics	115
2) Changes in physicochemical characteristics	119
3) Sensory analysis	130
Section 4. Reference	134

Chapter 3. Effects of Gamma-ray and Electron-beam Treatment on the aging and on the Survival of Pathogens and Spoilage Microorganism in the Raw Beef

Section 1. Effects of γ -Irradiation on the Aging of Beef	140
1. Introduction	140
2. Literature review	143
3. Materials and Methods	154
4. Results and Discussion	157
Section 2. Effects of Low Dose Electron-beam Irradiation on the Beef Aging	170
1. Introduction	170
2. Literature review	172

3. Materials and Methods	191
4. Results and Discussion	193
Section 3. Effects of Gamma-ray and Electron-beam Treatment on the Survival of Pathogens and Spoilage Microorganism in the Raw Beef	202
1. Introduction	202
2. Literature review	205
3. Materials and Methods	216
4. Results and Discussion	220
Section 4. Reference	226

Chapter 4. Development of Sterilization Techniques for Traditional Agricultural Processed-Products Using Electron Beam	234
Section 1. Introduction	235
Section 2. Main Subject	239
1. Contents and Methods of the Projects	239
a. Materials	239
b. Irradiation and storage	239
c. Microbiological investigation	240
1) Total aerobic bacteria	240
2) Yeasts and molds	240
3) Coliforms	240
d. Determination of physicochemical characteristics	241
1) Hunter's color values	241
2) Soluble pigments	241
3) Capsanthin analysis	241

4) Saponin analysis	242
① Saponin extraction	242
② TLC analysis of saponin	242
③ HPLC analysis of saponin	242
5) Capsaicin analysis	243
6) Gingerol analysis	245
7) Electron donating ability test	245
8) TBA value test	246
9) Fatty acid composition	246
e. Organoleptic test	246
f. Storage test	247
Section 3. Results and Discussion	249
1. Microbiological quality and sterilizing effects	249
2. Physicochemical properties of sterilized samples	256
a. Changes in hunter's color values	256
b. Pigment changes	258
1) Soluble pigments	258
2) Capsanthin analysis	258
c. Changes in quality-indication components	260
1) Saponin components	260
2) Capsaicin contents	260
3) Gingerol contents	264
d. Changes in electron donating ability	265
e. Changes in TBA value	265
f. Changes in fatty acid composition	268
3. Organoleptic quality	273
Section 4. Conclusions and Recommendation	275

Section 5. References277

목 차

제 1 장	시 론	31
제 2 장	저 수준 전자선 조사를 이용하여 신선육 살균시 적정 조사 수준 확립(서울대)	39
제 1 절	저 수준 전자선 살균을 이용하여 신선돈육 살균시 적정 조사수준 확립	40
1.	감마선 조사를 이용하여 신선돈육 살균시 적정 조사수준확립	40
가.	연구내용 및 방법	40
1)	실험재료	40
2)	감마선 조사 및 저장	40
3)	생균수 계수	40
4)	이화학적 특성 변화	41
5)	관능적 특성 변화	42
6)	통계분석	42
나.	연구결과 및 고찰	42
1)	미생물 변화	42
2)	지방산화	46
3)	육색변화	48
4)	pH 변화	51
5)	관능검사	52
2.	전자선 조사를 이용하여 신선돈육 살균시 적정 조사수준 확립	55
가.	연구내용 및 방법	55
1)	실험재료	56
2)	전자선 조사 및 저장	56

3) 생균수 계수	56
4) 이화학적 특성 변화	57
5) 관능적 특성 변화	58
6) 통계분석	58
나. 연구결과 및 고찰	58
1) 생균수 변화	58
2) 이화학적 변화	63
3) 관능검사	71
제 2 절 저 수준 전자선 살균을 이용한 신선우육의 위생적 품질개선 기술개발	74
1. 감마선 조사를 이용하여 신선소매우육 살균시 적정 조사수준확립	74
가. 연구내용 및 방법	74
1) 실험재료	74
2) 감마선 조사 및 저장	74
3) 생균수 계수	75
4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)	75
5) 관능적 특성 변화	76
6) 통계분석	76
나. 연구결과 및 고찰	76
1) 미생물 변화	76
2) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)	79
3) 관능적 특성 변화	85
2. 전자선 조사를 이용하여 신선소매우육 살균시 적정 조사수준 확립	88
가. 연구내용 및 방법	88
1) 실험재료	88

2) 전자선 조사 및 저장	88
3) 생균수 계수	88
4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)	89
5) 관능적 특성 변화	89
6) 통계분석	89
나. 연구결과 및 고찰	90
1) 미생물의 변화	90
2) 이화학적인 특징	93
3) 관능적 특성 변화	98
제 3 절 저 수준 전자선 살균을 이용하여 신선계육 살균시 적정조사수준 확립	101
1. 감마선 조사를 이용하여 신선계육 살균시 적정 조사수준 확립	101
가. 연구내용 및 방법	101
1) 실험재료	101
2) 감마선 조사 및 저장	101
3) 생균수 계수	101
4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)	102
5) 관능적 특성 변화	102
6) 통계분석	102
나. 연구결과 및 고찰	103
1) 미생물 변화	103
2) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)	106
3) 관능적 특성 변화	109
2. 전자선 조사를 이용하여 신선소매계육 살균시 적정 조사수준	113
가. 연구내용 및 방법	113

1) 실험재료	113
2) 전자선 조사 및 저장	113
3) 생균수 계수	114
4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)	114
5) 관능적 특성 변화	115
6) 통계분석	115
나. 연구결과 및 고찰	115
1) 미생물 변화	115
2) 이화학적인 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)	119
3) 관능검사	130
제 4 절 참고문헌	134

제 3 장 감마선, 전자선 조사가 쇠고기의 숙성과 쇠고기 중 병원성

및 부패미생물 성장에 미치는 효과(한국식품위생연구원)139

제 1 절 감마선 조사 처리가 쇠고기 숙성에 미치는 효과에 대한 연구	140
1. 서 론	140
2. 연구사	143
3. 재료 및 방법	154
4. 결과 및 고찰	157
가. 저장중 pH의 변화	157
나. 전단력의 변화	158
다. 육색의 변화	161
라. TBA의 변화	163
마. 총 세균수의 변화	165
바. 풍미의 변화	166
사. 다즙성의 변화	167
아. 기호도의 변화	168

제 2 절 저 수준 전자선 조사 처리가 쇠고기 숙성에 미치는 효과	170
1. 서 론	170
2. 연구사	172
가. 조사형태와 선량단위	172
나. 감마원(GAMMA SOURCES)	174
다. 기계적 선원	179
라. 식품 조사시의 효과와 관련된 요인들	185
1) 선량 및 선량률(dose and dose rate)	185
2) 온도(temperature)	186
3) pH	186
4) 산소(Oxygen)	186
마. 식품 조사 기술의 국내 현황	186
바. 육의 전자선 조사와 고온 숙성	188
1) 육의 전자선 조사	188
2) 쇠고기 숙성에 대한 효과	189
3. 재료 및 방법	191
가. 공시 재료 및 전자선 조사	191
나. 실험 방법	191
1) pH 측정	191
2) 연도(Tenderness) 측정	192
3) 색도(Color) 측정	192
4) TBA(Thiobarbituric acid) Value 측정	192
5) 총균수(표면 미생물 수) 측정	192
6) 관능 검사	193
7) 통계분석	193
4. 결과 및 고찰	193
가. 저장중 pH의 변화	193

나. 전단력의 변화	194
다. 육색의 변화	196
라. 기타 관능 검사의 결과	199
마. 신선육 지방산화의 변화	199
바. 총균수의 변화	201
제 3 절 감마선, 전자선 조사가 쇠고기중 병원성 미생물 생장에 미치는 효과 ..	202
1. 서 론	202
2. 연구사	205
가. 식육의 위생	205
나. 식육의 부패 및 변질	206
다. 식육 중의 주요 병원성 미생물	209
라. 동물성 식품에 대한 조사효과	211
1) 병원성 미생물에 대한 조사효과	213
2) 부패미생물에 대한 조사 효과	213
마. 식품조사의 향후전망	215
3. 재료 및 방법	216
가. 시료 준비	216
나. 미생물 배양	217
1) E. coli O157:H7	217
2) <i>Listeria monocytogenes</i>	217
3) <i>Shewanella putrefaciens</i> (<i>Pseudomonas putrefaciens</i>)	218
다. 미생물 접종	218
라. 방사 선원 및 조사	218
마. 저장 시료의 미생물 분석	219
1) E. coli O157:H7	219
2) <i>Listeria monocytogenes</i>	219
3) <i>Shewanella putrefaciens</i>	219

4. 결과 및 고찰	220
가. E. coli 0157:H7 균수	220
나. Shewanella putrefaciens 균수	221
다. Listeria monocytogenes 균수	223
제 4 절 참고문헌	226

제 4 장 전자선을 이용한 전통 농산가공품의 살균기술 개발(경북대학교)

.....	234
제 1 절 서 론	235
제 2 절 연구내용 및 방법	239
1. 실험 재료	239
2. 시료의 살균처리 및 저장	239
3. 미생물 검사	240
가. 호기성 총세균 (Total aerobic bacteria)	240
나. 효모 및 곰팡이 (Yeasts and molds)	240
다. 대장균군 (Coliforms)	240
4. 이화학적 특성 시험	241
가. 기계적 색도 측정	241
나. 수용성 색소 측정	241
다. 고추의 capsanthin 측정	241
라. 인삼의 saponin 안정성 시험	242
1) Saponin의 추출	242
2) Saponin의 TLC 분리	242
3) Saponin의 HPLC 분석	242
마. 고추의 capsaicin 분석	243
바. 생강의 gingerol 분석	245
사. 전자공여능 측정	245

아. TBA가 측정	246
자. 지방산 조성 분석	246
5. 관능적 품질평가	246
6. 저장안정성 시험	247
제 3 절 연구결과 및 고찰	249
1. 농산 건조가공품의 미생물학적 품질 및 전자선 살균효과	249
2. 살균처리된 시료의 이화학적 품질 평가	256
가. 농산가공품의 기계적 색도	256
나. 농산가공품의 색소	256
1) 수용성 색소의 변화	258
2) 고추 capsanthin 함량의 변화	258
다. 농산가공품의 품질지표 성분	260
1) 인삼의 saponin 함량의 변화	260
2) 고추 capsaicin 함량의 변화	260
3) 생강의 gingerol 함량의 변화	264
라. 농산가공품의 전자공여능	265
마. 농산가공품의 TBA value	265
바. 농산가공품의 지방산 조성	268
3. 농산가공품의 관능적 품질	273
제 4 절 결론 및 건의 사항	275
제 5 절 참고문헌	277

제 1 장 서 론

제 1 장 서 론

생활수준의 향상과 사회환경 변화로 현대 소비자들은 식품품질 중에서 특히 안전성 및 위생적 품질에 대한 관심의 증대로 선진국들은 자국에서 생산되는 것 뿐만 아니라 수입식품의 위생적 품질 강화에 노력하고 있다. 국내에서도 WTO체제하의 농축산물 수입 전면 개방화시대를 맞이하여 국내 산 농축산물의 위생적 품질개선으로 소비자들의 욕구를 충족시키므로써 국내에서 수입 농축산물과의 경쟁력을 강화시킬 필요가 대두되고 있다. 더욱이 유통기한 자율화로 식품의 위생적 품질의 중요성이 더욱 강조되고 있고, 지구환경오염방지를 위하여 식품살균방법으로 광범위하게 쓰여진 훈증소독이 세계적으로 사용금지되고 있는 추세이나 대체기술의 개발이 부진한 실정이다. 그러나, 농축산물 유통은 대부분이 소규모업체가 주체가 되어 수행되어지기 때문에 위생적 품질을 개선시킬 기술개발이 곤란하여 국가적 차원의 연구개발이 필요하다. 현대소비자들은 식품의 위생적 품질은 개선되기를 원하지만 화학보존료나 소독제의 사용에는 거부감을 느낀다. 따라서 훈증소독이나 합성보존료의 사용을 피하면서 위생적 품질을 향상시킬 기술개발이 요구되고 있다. 이에 대응하는 방안으로 방사선 조사는 선진국의 경우 일정한 조사선량으로 국가에서 허용하는 기준을 바탕으로 실시되고 있으며 그 효과도 인정되어 다양한 농축산물에 많이 이용되어 지고 있다. 방사선에 대한 연구는 이미 오래전부터 진행되어왔는데, 1985년 Roentgen이 처음으로 x-선을 발견한 다음해(1896)에 Minsch가 이온화 방사선(ionizing radiation)이 식품중의 미생물을 죽일 수 있음을 시사하였고 1905년에 미국과 영국에서 각각 식품에서 박테리아를 이온화 방사선으로 죽이는 방법이 특허를 받았다. 1921년에는 x-선으로 돼지고기의 선모충(*Trichinella spiralis*)을 죽이는 방법이 미국에서 특허를 받았다. 1940년대에 원자로의 출현과 고에너지 전자선을 생산하는 Van de Graaff발전기와 선형 가속기가 개발되어 이온화 방사선 연구는 더욱 활발

히 진행되게 되었다. 1943년 미국 MIT의 Proctor교수가 햄버거를 x-선으로 멸균시킬 수 있다고 보고한 이래 1953년 미국 아이젠하우어 대통령의 “Atoms for Peace” 정책의 일환으로 식품 방사선조사 연구가 미국 육군에 의해 대대적으로 수행되었다.

그 이후 범세계적으로 수많은 식품 방사선조사 연구가 식품멸균에 집중되었고 그 결과로 식품의 멸균을 위해서는 약 50kGy 수준의 방사선이 필요하고 방사선 조사 멸균식품의 색깔이나 풍미가 심하게 변한다는 것을 인식하게 되었다. 이러한 부작용과 더불어 모든 이해 당사자들이 동의할 만한 방사선 조사 멸균식품의 안전성을 검사할 방법이 개발되지 못한 관계로 식품 방사선 조사 기술에 대한 산업계와 학계의 관심이 식어져 갔다. 1960년대에 들어와 식품살균이나 채소의 발아지연, 그리고 곡물의 살충을 위해 저수준의 방사선 사용이 활발히 연구되었다. 식중독 예방과 화학첨가제의 사용에 의한 식품중의 잔류물에 대한 일반인들의 관심이 증가하면서 저수준 방사선 조사에 대한 관심은 더욱 고조되었다. 결과적으로 1970년대 초까지 식품 방사선 조사에 필요한 기술적인 문제는 거의 해결이 되었지만 산업적 이용은 매우 부진하였다.

이것은 전세계의 식품 방사선 조사 연구를 주도하던 미국의 FDA가 방사선 조사를 식품처리공정으로 인정하지 않고 식품첨가물로 취급하여 방사선 조사 처리를 하려면 식품 종류마다 개별적으로 공정과 안전성에 대해 허가를 받아야하는 매우 번거로운 결과를 가져 왔기 때문이다. 따라서 미국을 제외한 나라들은 독자적으로 식품의 저 수준 방사선 조사에 대한 법적 허가를 활발히 진행시켜 1974년 일본은 발아방지를 위한 방사선 조사 감자를 시판하였고 유럽에서는 네델란드와 프랑스가 상업화에 매우 적극적이다. 1976년 WHO, FAO 그리고 IAEA가 공동으로 식품의 방사선 조사를 첨가물이 아닌 처리공정으로 인정할 것을 천명한 후 1980년에는 WHO/IAEA/FAO 방사선 조사 식품 안전성 전문위원회에서 감마선, 전자선 혹은 x-선을 이용하여 10kGy 수준까지 방사선 조사된 식품은 인체에 안전

함을 선언하였다. 1986년 미국 FDA는 드디어 방사선 조사에 대한 규정을 개정하였고 1992년에 신선 가금육의 방사선 조사 처리가 허가되어 1993년에는 성공리에 시판되기에 이르렀다. 이것은 1990년대에 들어와 미국에서 햄버거와 닭고기에 의한 대규모 식중독 사건이 국민적 관심을 불러 일으켜 신선육에서의 미생물 살균 방법으로서 저수준 방사선 조사가 유일한 방법이라는 인식을 정부나 소비자가 함께 하였기 때문이었다.

미생물적 안전성 측면에서 식품가공시 화학 첨가물의 사용 감소는 위험의 증가를 의미한다. 반면에 이들의 사용은 인체에의 유해논쟁을 불러 일으켜 왔다. 곡물이나 건조 양념류의 소독을 위하여 지금까지 methyl bromide, ethylene dibromide 그리고 ethylene oxide가 훈증제로 사용되어져 왔으나 미국과 일본에서는 ethylene dibromide의 사용이 금지되었고 유럽에서는 ethylene oxide의 사용이 금지되었다. 또한 methyl bromide는 오존파괴물질로 규정되어 2000년대까지 사용이 금지될 것이다. 따라서 방사선 조사를 이러한 화학물질의 사용에 대체하여 이용함으로써 식품의 잔류물 독성문제를 피하고 아울러 식품의 위생적 안전성도 성취할 수 있다.

많은 아시아 개도국에서는 감자, 양파 등의 장기저장을 위해서 저온저장법(2~4℃)을 이용하고 있으나 단위 무게당 값이 저렴한 농산물을 저온에 저장할 경우 저장비용의 부가로 가격상승을 초래하게 된다. 그러나 이들 농산물들은 저선량(0.1~0.15kGy)의 방사선을 조사한 뒤 10~15℃ 정도의 온도에 저장하여도 저렴한 비용으로 장기간 저장이 가능하다.

식품가공 방법에 따른 에너지 소요량을 보면 가열, 냉장, 냉동저장법에 비해 식품조사에 사용되는 에너지는 대단히 적다. 특히 닭고기와 같은 육류나 생선류는 냉동저장·유통대신에 감마선 조사후 냉장·유통한다면 경비를 크게 줄일 수 있다.

브라질의 최대 닭고기 생산업체가 발표한 연구결과에 따르면 냉동상태의 현행 닭고기 저장·유통방법 대신에 2.5kGy의 감마선과 냉장을 병용하

였을 경우 위생적인 잇점은 제외하고서도 닭고기 1kg당 0.18볼의 순이익이 가능하다고 한다.

근육식품에서의 저수준 방사선 조사의 사용은 주로 미생물학적 부패를 억제하여 저장성 증진을 기하고, 병원성 미생물의 사멸을 촉진하여 식품 안전성을 성취하는 데에 그 목적을 두고 있다. 또한 숙성기간의 단축을 위하여 쇠고기를 고온에서 숙성시킬 때 미생물의 성장을 억제하여 부패의 위험없이 숙성을 가속화시키는 수단으로 사용되기도 한다.

방사선 조사의 식품 안전성 성취에 대한 효과는 병원성 미생물의 종류나 오염정도, 방사선에 대한 병원성 미생물의 상대적 내성, 온도, 포장내의 공기조성, 식품첨가물의 존재여부, 식품의 성질(성분, pH 등) 등에 따라 다양하다. 따라서 같은 균이라도 대상식품이 무엇이나, 포장을 어떻게 하였느냐에 따라 D_{10} value가 다르게 된다. 병원성 미생물 뿐만 아니라 신선 근육식품에 존재하는 기생충 박멸이나 감염방지에도 효과적이다. 예를 들면, 닭고기의 *Salmonella*, *Listeria Monocytogenes* 및 *Campylobacter*, 햄버거의 *E. coli* 0157:H7, 생선의 비브리오 등이 선진국에서 많은 관심의 대상이 되어 왔다. 포자불형성 병원성 미생물의 제거는 3~10kGy의 수준이 요구되지만 신선 적육, 가금육 혹은 생선류에서 비교적 높은 수준의 방사선 조사는 관능적인 면에서 문제를 가져온다. 적육에서의 기생충 제거는 0.3~6kGy의 수준으로 성취된다.

적육이나 가금육에서는 주로 신선육의 저장성 증진에 저수준 방사선 조사를 이용하지만 생선류에서는 신선 생선뿐만 아니라 건조, 훈연된 생선들의 저장에 효과적으로 이용되어진다. 특히 후진국이나 개발도상국에서는 저장과 유통과정에서의 부패로 인한 손실을 감소시키는데 매우 유효한 것으로 보고된다. 아울러 건조생선의 경우, 곤충이나 애벌레의 박멸에도 효과적이다. 생선류에서는 최대 3kGy 수준이 추천되며 지방성 생선류에서는 관능적 품질에 대한 나쁜 영향으로 그 사용이 추천되지 않았으나 Silva와 Nunes(1994)는 고등어에서 1kGy 수준은 풍미나 색깔 그리고

조직면에서 조리 후 무처리구와 차이가 없이 저장기간을 2~3배 연장시킬 수 있다고 하였다.

최고기 숙성은 주로 근육내의 단백질 분해효소 Calpain이 사후 근육의 온도와 pH 조건에 따라 그 활력이 영향을 받아 이루어지는 것으로 알려져 있다. 따라서 사후 근육의 온도가 높을수록 효소활력이 높아져 고기의 연화가 신속히 이루어질 수 있다. 그러나 온도가 높으면 미생물의 발육도 촉진되어 부패가 빨라지게 된다. 미생물의 발육을 억제하며 숙성을 촉진시키기 위하여 방사선 조사를 이용한다. Wilson 등(1960)은 항생제와 함께 0.45~0.5kGy 수준을 이용하여 강직후의 round steak를 43.5℃에서 1일 혹은 32℃에서 2일간 숙성하여 2~3℃에서 14일간 숙성시킨 고기의 연도를 성취하였다. Snyder(1973)는 온도체를 43.3℃에서 8시간 숙성시킨 후 2~4시간내에 4℃로 냉각시켜 스테이크로 절단한 후 0.85kGy 수준의 방사선 조사로 살균시켜 전통적인 숙성으로 생산된 최고기의 연도를 생산하였다. 반면에 Dessouki 등(1978)은 소 등심근을 polyethylene bag으로 포장한 후 5kGy로 처리하여 45℃에서 숙성시켰을 때 1일후에 연화가 충분히 이루어졌다고 보고했다. 그러나 변색과 지방산화가 방사선 조사로 촉진되는 부작용이 발생하였다. Lee 등(1995)은 사후강직전 소 등심근 스테이크를 Modified atmosphere packaging으로 포장한 후 2.5kGy 수준으로 조사하여 30℃에서 저장하였을 때 냉장상태로 14일 숙성시킨 고기와 동일한 연도를 성취할 수 있었다. 아울러 고기의 색깔도 무처리와 동일하게 유지되었다.

감마선의 공급원은 방사선 동위원소로서 이것은 그 사용여부에 상관없이 계속 붕괴하여 방사선을 방출할 뿐만 아니라 소비자들이 거부감을 느낀다는 것이 가장 문제점으로 제기되고 있다. 따라서 기계적으로 생산할 수 있는 전자선 조사가 최근 선진국에서는 많이 활용되고 있다. 더욱이 조사된 식품이 방사능을 갖게 되는 것이 아니기 때문에 포장표기도 “전자살균”으로 명기하는 것이 더 정확한 표현이라고 주장된다. 현재 세계적인 추세는 새로 설치하는 조사시설은 감마선이 아닌 전자선시설을 선호하는

것이다. 우리나라에서는 주로 원자력연구소에서 변명우, 조한욱, 권중호 등이 식품의 멸균을 중심으로 오랜동안 연구를 진행하여 왔고 채소의 발아억제, 건조식품류의 살균을 위한 감마선조사가 허가되어져 있다. 상업적으로는 (주)그린피아가 유일하게 감마선조사시설을 운영하고 있으며 연간 처리량은 약 3000톤으로 140여개의 식품업체가 이용하고 있는 실정이다. 그러나 제조식품의 첨가원료로 사용되므로 소비자들은 전혀 알 수 없는 형편이다. 그러나 아직 전자선을 이용한 조사연구는 되어진 적이 없고 다만 이무하가 미국 아이오와주립대학에서 “저수준 전자선을 이용한 돼지고기의 관능적 특성에 대한 전자선과 가스포장의 효과(이무하 등, 1995)”에 대한 연구를 수행하고 돌아와 식품의 전자선조사기술의 이용전망에 대하여 고찰한 바 있다(이무하, 1995). 1997년 이후에 국내에 3개의 방사선조사시설이 국내에서 설립하려고 준비중에 있어 국내에서 방사선을 이용한 살균방법에 대한 관심이 증가하고 있다.

국내에서 현재 사용되고 있는 감마선조사는 주로 건조·분말식품에만 사용되고 있고 신선축산물에는 이용되지 않고 있으며 냉장식품에는 사용에 불편한 점이 있는 것으로 보고된다. 방사선 처리 후 식품의 종류에 따라 조사취의 문제가 대두되어 관능적 품질에 변화가 적은 방법을 강구해야 한다. 더욱이 소비자의 반응은 기술적 측면보다는 사회적 측면이 더 강조되는 경향이 있어 식품의 위생적 품질향상을 위해서는 전자선조사기술의 개발이 필요하겠다.

따라서 본 연구에서 총괄기관(서울대)의 저수준 전자선 살균시 식육(돈육, 우육, 계육)의 위생적 품질개선 기술 개발에 대한 연구는 방사선 처리 후 문제시 되는 조사취를 고려하여 저수준 즉 0.5kGy, 1kGy, 2kGy 수준으로 조사하여 이에 따른 저장기간별 미생물 성장 억제효과에 미치는 영향과 지방산화, 단백질 변성, pH, 육색 변화등의 이화학적인 특성, 조사취의 정도를 판별하기위한 관능적인 특성등을 조사수준에 따라 전자선, 감마선 처리를 하지 않은 대조구와 비교분석하였다. 1차년도(1996)에는

신선돈육을 이용하여 전자선 조사와 감마선 조사가 신선돈육에 미치는 영향에 대하여 분석하였고, 2차년도에서는 신선우육을 이용하여 그리고 3차년도에서는 신선계육을 이용하여 저장기간이 증가함에 따라 미치는 영향을 분석하였다. 이에 따라 보다 효율적으로 신선돈육, 신선우육, 신선계육의 저장성을 연장시킬 수 있는 감마선조사와 전자선조사의 적정수준량을 결정하는데 그 목적을 두고 있으며, 협동기관(한국식품위생연구원)의 쇠고기의 고온숙성에 감마선이나 전자선조사 이용시 미치는 영향에 관한 연구는 위생적으로 쇠고기를 고온숙성하기 위하여 감마선이나 전자선 조사와 같은 전자기 방사선(electromagnetic radiation)을 이용하여 단기간 내에 쇠고기를 숙성시켜 쇠고기의 관능적 품질을 향상시키기 위하여, 1차년도에는 감마선 처리후 고온숙성육의 숙성진행과 미생물의 억제 정도를 물리적, 관능적 특성, 총균수 측정으로 관찰하여 육제품의 저장 및 품질증진에 적합한 감마선 처리량과 숙성온도를 선정하고자 수행되었다. 2차년도에는 저수준에서 전자선을 조사하여 고온 숙성한 한우의 물리·화학적 및 미생물학적 특성을 검토하여 우리 나라 도축장의 위생실정에 맞는 쇠고기 숙성법을 개발하고, 소비자들이 기피현상을 보이는 방사능 동위원소에 의한 감마선 조사를 대체할 수 있는 위생적인 신선육 처리방법을 개발하고자 하였으며, 3차년도에는 1차, 2차년도 연구사업의 결과를 토대로 하여 감마선 및 전자선 조사가 위생상 문제를 야기할 수 있는 *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*과 같은 주요 병원성 미생물 및 부패미생물의 생장에 미치는 효과를 조사하였다.

위탁기관(경북대)의 전자선을 이용한 전통 농산가공품의 살균기술 개발에 관한 연구에서는 전자선을 이용하여 내수 및 특히 수출상품에 있어서 미생물학적 품질관리에 많은 어려움을 겪고 있는 대표적 전통 농산가공품인 인삼분말, 향신료 고추/생강 분말, 장류분말 등을 대상으로 새로운 살균기법의 실용화 기반연구를 수행하였다.

제 2 장 저 수준 전자선 조사를 이용하여
신선육 살균시 적정 조사수준 확립
(서울대학교)

제 2 장 저 수준 전자선 조사를 이용하여 신선육 살균시 적정 조사수준확립

제 1 절 저 수준 전자선 살균을 이용하여 신선 돈육 살균시 적정 조사수준확립

1. 감마선 조사를 이용하여 신선돈육 살균시 적정 조사수준 확립

가. 연구내용 및 방법

1) 실험재료

실험재료는 시중에서 시판되는 돈육의 등심부위를 이용하였으며, 등지방은 완전히 제거하였고, 일정한 크기(두께 10cm)로 절단하여 감마선 조사에 이용하였다.

2) 감마선 조사 및 저장

실험재료의 감마선 조사는 호기적 조건에서 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 한국원자력연구소 내 선원 100,000 Ci의 ^{60}Co 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 1kGy의 선량률로서 0.5kGy, 1kGy, 2kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 총 흡수선량의 오차는 $\pm 5\%$ 내외였으며 감마선 조사처리된 시료는 비조사 대조시료와 함께 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 냉장상태로 저장하면서 실험에 이용하였다.

3) 생균수 계수

APHA(1985)의 Swab contact method를 수정하여 시료에서 미생물을 채취

하였다. 면적이 10㎤인 주형판을 이용하였다. 호기적 증온성 균수는 위의 시료액 1㎖을 Aerobic Count Petrifilm™(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 분주하여 37℃에서 2일간 배양한 후 균락수를 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㎖을 분주하여 37℃에서 2일간 배양한 후 계수하였다. 내냉성균은 증온성균수와 마찬가지로 Aerobic Count Petrifilm™(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 1㎖을 분주하여 4±2℃에서 3주(21일)간 배양한 후 계수하였다.

4) 이화학적 특성 변화

가) TBA

시료의 저장 중 지방산패정도를 조사하기 위해서 TBA는 Witte 등(1970)의 방법을 이용하여 TBA추출법으로 측정하였다. Thiobarbituric acid를 첨가하여 암실에서 15시간 발색시켜 UV-Spectrometer를 이용하여 530nm에서 흡광도를 측정하였고, 다음 식에 의해서 ppm단위로 환산하였다.

$$TBA(ppm) = \text{Absorbance} \times 5.2$$

나) 육색

Chroma Meter(Model CR-210, Minoita Co., LTD., Japan)를 사용하여 돈육의 CLE system의 L*, a*, b*값을 측정하였다. 색차분석(total color difference, ΔE*)은 다음과 같은 식을 이용하여 측정된 두 색 사이의 종합적인 차이를 분석하였다.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L1^* - L2^*)^2 + (a1^* - a2^*)^2 + (b1^* - b2^*)^2}$$

다) pH

pH meter(Model 5985-80 Digi-Sense® pH meter, Cole-parmer Instrument Company, USA)를 이용하여 측정하였다.

5) 관능적 특성 변화

관능검사는 10~20명의 관능요원에 의해서 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)을 신선돈육과 조리한 돈육(심부온도 70℃)을 대상으로 실시하였다(김광욱 등, 1995). 삼점검사는 같은 두 시료와 다른 한 시료를 함께 주고 다른 것을 골라내는 방식으로 진행하여 감마선 조사취의 관능적 분리 수준을 알아보려 하였다. 척도묘사분석법은 신선육의 경우 색, 향기, 불쾌취, 기호성을, 조리육에서는 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성, 기호성을 조사하였다.

6) 통계분석

통계 분석을 위해 위의 실험을 3반복 수행하였으며, SAS(1995) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 Duncan test를 수행하였다.

나. 연구결과 및 고찰

1) 미생물 변화

식육은 아주 훌륭한 미생물의 배지가 될 수 있기 때문에 냉장온도 이상에서 저장시간이 증가할수록 미생물의 수준은 증가하게 된다. 또한 초기 미생물 수준이 저장기간에 많은 영향을 미치므로 감마선을 조사하여 초기 미생물 수준을 감소시킴으로서 저장기간을 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.

감마선을 조사한 돈육의 호기적 증온성균의 변화는 Figure 1에 나타난

것과 같이 감마선을 조사한 날의 미생물수준은 감마선을 조사하지 않은 경우에 가장 높은 수준으로 나타났다. 대략 10^3 CFU(colony forming unit)/ cm^3 이상의 수준으로 검출이 되었는데 이는 외국의 경우와 비교를 해 보면 약간 높은 수준이라 할 수 있다. 외국의 경우 감마선 조사하지 않은 돈육에서 Lebepe등(1990)은 10^3 CFU/ cm^3 가 안 되었고, Mattison 등(1986)은 10^2 CFU/ cm^3 미만의 결과를 보고하였다. 초기 감마선 조사선량이 많아질수록 미생물의 감소 정도는 크게 나타났으며, 2kGy수준으로 조사한 경우에는 거의 검출되지 않았다. Lambert등(1984)은 *Campylobacter jejuni*를 접종시킨 분쇄육에 감마선을 여러 수준으로 조사하였는데, 그 결과가 조사 수준이 높을수록 *Campylobacter jejuni*의 감소가 더 크게 나타났다고 보고하였다. 저장기간이 증가할수록 미생물의 수는 기하급수적으로 증가하였으며 일반 세균에 의한 부패수준인 $\log_{10}7.00$ (10^7) CFU/ cm^3 에 도달하는데 감마선을 조사하지 않은 경우에는 2주가 걸렸고, 0.5kGy를 조사한 경우에는 3주가 걸렸으며 1kGy와 2kGy를 조사한 경우에는 그 이상의 기간이 소요될 것으로 예상이 되어진다.

Figure 2는 젖산균의 변화정도를 나타낸 것으로써 젖산균에 의한 부패 수준인 $\log_{10}8.00$ (10^8)CFU/ cm^3 에 도달하는 기간을 살펴보면 3주가 지나가도 감마선을 조사한 경우나 조사하지 않은 경우 모두 도달하지 못하는 것으로 나타났다. Lebepe 등(1990)과 Mattison 등(1986)은 초기에 감마선 조사하지 않은 돈육의 초기 젖산균수가 10^1 CFU/ cm^3 미만으로 나타났지만, 국내산 돈육의 경우에는 이보다 훨씬 높은 수준으로 나타났다.

Figure 3은 내냉성균의 변화로서 일반적으로 냉장온도에서 증식하는 미생물의 변화를 살펴본 것이다. 내냉성균에 의한 부패수준은 일반적으로 $\log_{10}7.00$ (10^7)CFU/ cm^3 로 알려져 있으며(Ayres, 1960; Hanna 등, 1979), 본 연구 결과에 의하면 감마선을 조사하지 않은 경우에는 1~2주사이에 부패수준까지 도달하였으며 0.5kGy를 조사한 시료의 경우에는 2주가 지나면서 부패수준에 도달하였다. 1kGy를 조사한 경우와 2kGy를 조사한 경우에는 대략

1~2주가 더 지나야 부패수준에 도달할 것으로 예상이 되어진다.

호기적 증온성균, 젖산균수, 내냉성균수 모두 $p < 0.01$ 수준에서 유의성을 나타내고 있어 각 균총 모두 감마선에 민감하게 반응함을 알 수가 있다. 하지만 2주가 지나면서 0.5kGy수준으로 조사한 경우에는 급속한 미생물의 성장으로 인해 감마선을 조사하지 않은 경우와 차이가 크게 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 하지만 3주째에는 1kGy이상을 조사한 경우에 미생물의 수준에 차이를 나타내고 있다. 즉 1kGy이상으로 조사할 경우에는 호기성 증온성균, 젖산균수, 내냉성균수를 1kGy미만으로 조사하거나 하지 않은 경우보다 낮게 유지할수 있어서 저장기간을 증가시킬 수 있다.

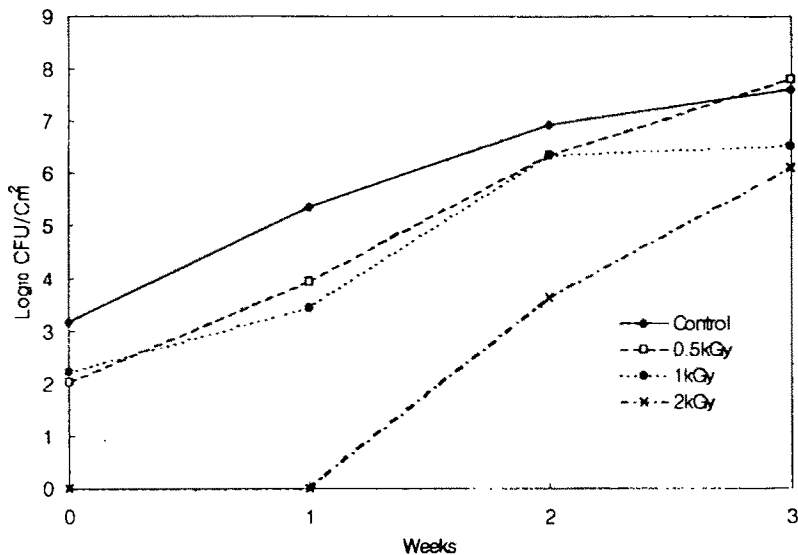


Figure 1. Total aerobic bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated pork loins during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

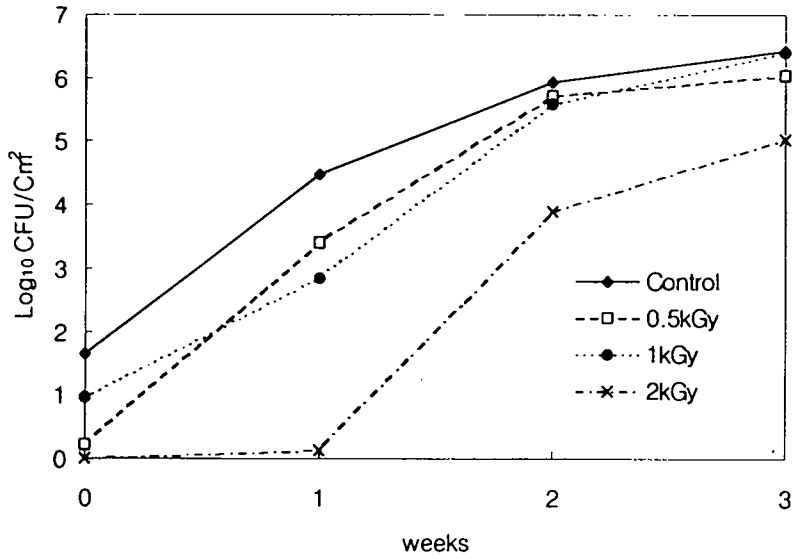


Figure 2. Total lactic acid bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated pork loins during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

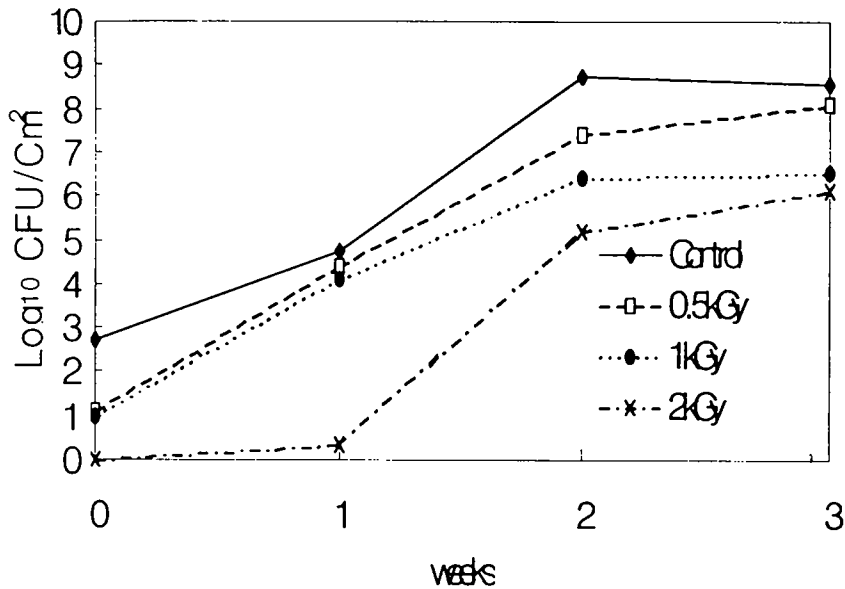


Figure 3. Total psychrotrophic bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated pork loins during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$.

2) 지방산화

일반적으로 감마선조사는 여러 가지 다른 형태의 에너지 전이를 나타내지만 식품에 조사하게 되면 주로 Compton 효과가 나타난다(Stevenson, 1992). 저장중에 돈육내에 존재하는 지방산들이 분해되면서 생성되는 여러 가지 생성물들중에서 malonaldehyde와 2-thiobarbituric acid와 결합하여 생성되는 붉은색 complex의 강도를 UV-spectrometer에 의해 측정함으로써 값이 크면 클수록 지방산화가 많이 일어났음을 의미한다. Figure 4는 감마선 조사선량에 따른 TBA(thiobarbituric acid) value의 변화를 나타내는 결과로서 감마선을 조사한 것과 조사하지 않은 것 모두 저장기간이 길어질수록 TBA value는 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 감마선량

이 증가할수록 초기에 지방산화정도가 큰 것으로 나타났다($P < 0.05$). Lebepe등(1990)의 결과에서는 초기에 감마선 조사하지 않은 것이 더 크게 나타났다고 보고하였다. 하지만 0.5kGy와 1kGy의 경우에는 오히려 0.5kGy를 조사한 시료가 더 높은 TBA value를 나타내고 있어서, 저선량을 조사할 경우에는 지방산화에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 생각되며, 근육 조직내의 지방함량의 차이에 의해서도 나타날 수가 있다. 감마선을 조사한 후 1주까지는 지방산화가 그리 크게 변화가 없으나 2주가 되면서 급격하게 지방산화가 일어나게 되는 것을 알 수 있다.

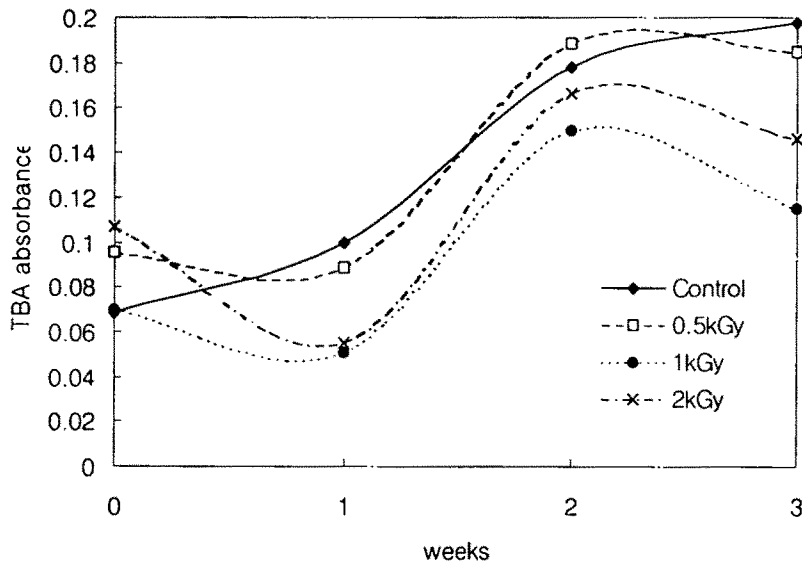


Figure 4. TBA absorbance changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated pork loins during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

3) 육색변화

식품의 색이 중요한 이유는 모든 개개의 식품이 고유한 색을 가지고 있으며, 각 식품의 형태, 크기, 풍미 등과 함께 소비자들에 의해 받아들여질 수 있는 식품의 특성을 형성하고 있기 때문이다. 일반적으로 어떤 특정식품에 대해서는 과거의 경험과 소비자들이 가지고 있는 상식, 경우에 따라서는 편견을 통해서 어떤 특정한 색을 기대 또는 연상하게 된다. 따라서 식품의 색은 그 식품에 대한 소비자들의 기호성에 많은 영향을 미치는 요인이 되며 또한 그 식품의 품질을 결정하는 중요한 척도가 된다. 그러므로, 감마선 조사 전·후와 감마선량에 따른 색변화를 살펴보는 것은 매우 중요하다.

L^* value는 백색도를 나타내는 지표이다. Figure 5은 L^* value의 저장 중 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 저장기간이 진행됨에 따라서 L^* value는 감소하는 경향이 나타나고 있다. 하지만, Luchsinger 등(1996)은 저장기간에 따라서 L^* value가 증가한다고 보고하였다. 특히 통기성 포장을 한 경우에 현저한 증가를 보고하였다. a^* value는 적색도를 나타내는 지수로서 Figure 6에 나타난 결과를 살펴보면 저장기간 중에 높은 감마선량으로 조사한 것이 하지 않은 시료에 비해 높은 수치를 나타내었다. 저장기간이 진행됨에 따라서 적색도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 Luchsinger 등(1996)과 유사한 경향을 나타내고 있다. 감마선량을 높게 가할수록 보다 붉은색을 띠는 것으로 나타났는데 이는, 1~2kGy수준으로 조사할 경우의 돈육의 육색이 더 붉어 소비자들이 좋아한다고 할 수도 있다. b^* value는 황색도를 나타내는 지수로서 a^* value와 함께 식육색을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 저장기간중에 변화를 살펴보면 무처리 돈육등심의 경우에 점진적으로 증가하는 경향을 나타내었고 1, 2kGy로 조사된 경우에는 2주정도까지는 수치가 감소하다가 그 이후로 증가하는 경향을 나타내었다(Figure 7).

이러한 경향은 미생물이 증식함에 따라서 미생물에 의해 산소분압이 낮

추거나 pH를 변화시켜 myoglobin의 산화를 촉진시키고, heme 색소의 globin부분을 분해하여 myoglobin의 색을 갈색으로 변하게 하고 색소를 생성하여 변색반점등이 형성되므로 전체적으로 신선육의 색이 갈색으로 변하게 된다. 따라서 백색도, 적색도가 감소하게 되고, 이에 반해 b^* value는 점차로 증가하게 되는 것으로 생각되어진다.

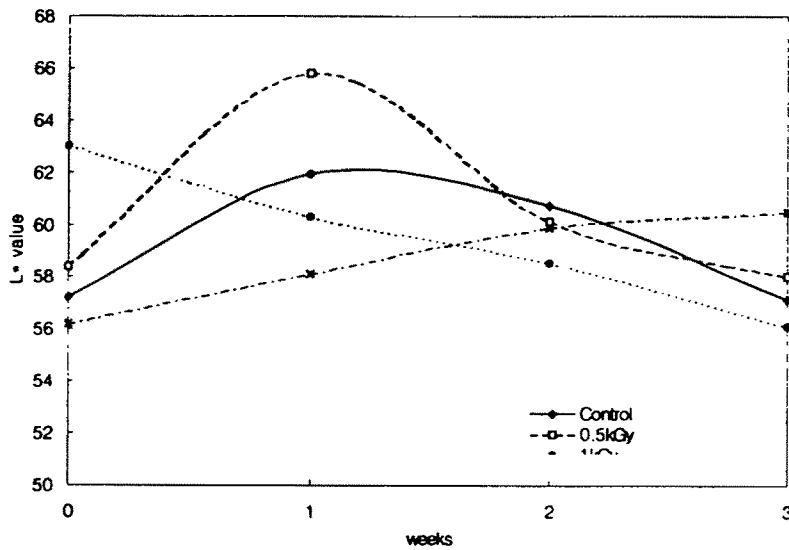


Figure 5. L^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2kGy irradiated pork loins during storage at $4\pm 2^\circ\text{C}$

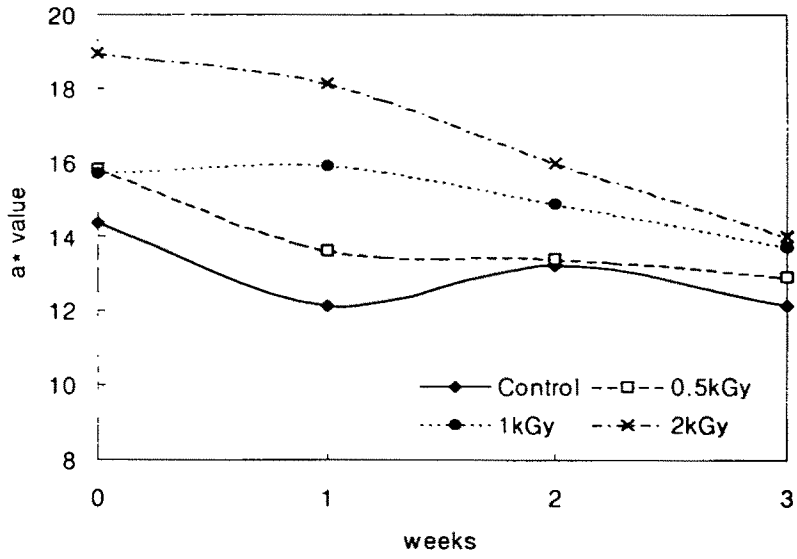


Figure 6. a* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated pork loins during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

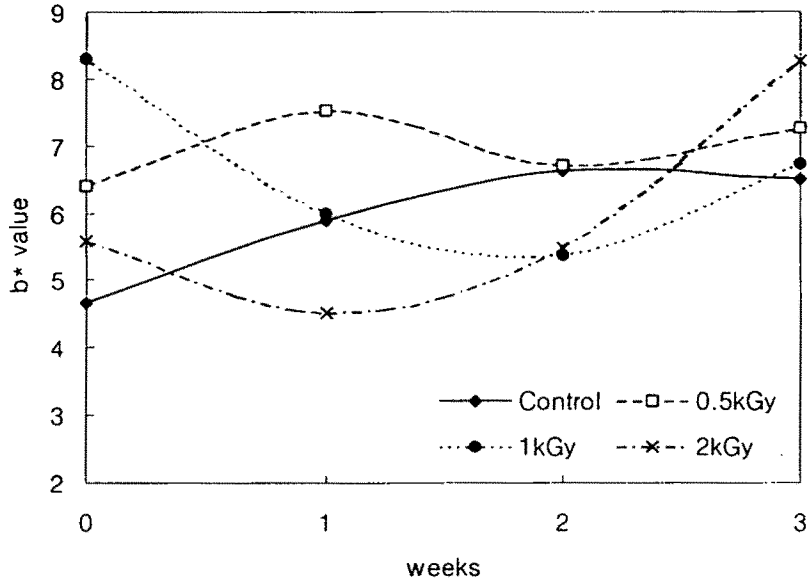


Figure 7. b* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated pork loins during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

4) pH 변화

일반적으로 신선육의 최종 pH는 대략 5.4정도로 알려져 있다. 감마선 조사후 pH 변화는 Figure 8에 나타나 있다. 첫주 동안에 pH는 감소하는 경향을 나타내고 있고, 그 이후로 점차 pH는 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 2kGy를 조사한 경우에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 저장중에 산패정도가 높아질수록 식육의 pH는 높아지는 경향이 있으며(Holley 등, 1994), 본 실험에서도 유사한 경향이 나타났다. 하지만, Weakley 등(1986)은 진공포장시 28일까지 저장중에 시간에 따른 pH 값의 유의차가 없는 것으로 보고하였다.

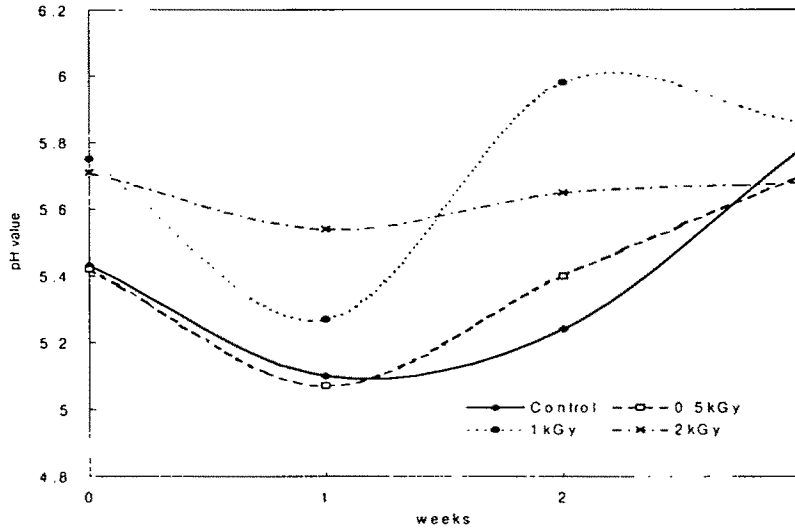


Figure 8. pH value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated pork loins during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

5) 관능검사

삼점검사(Triangle test)는 무처리 돈육 등심과 0.5, 1, 2kGy 감마선 조사된 돈육 등심을 2종류씩 짝(0-0.5, 0-1, 0-2, 0.5-1, 0.5-2, 1-2)로 짝을 지어 총 6 짝을 비교하였다. 이중에 각 조합에서 시료간의 차이를 구분한 경우가 10이상인 경우에 한해서 식별강도를 구할수 있었다. 각 식별강도는 낮음(slight), 보통(moderate), 많음(much), 매우 많음(extreme)에 각각 1, 2, 3, 4점을 주어 각각을 지목한 사람 수를 곱하고 이것을 전체 맞춘 사람 수로 나누어 수식화 하였다. 선호도 조사는 두종류의 시료중 다른 하나를 구별할 수 있었던 검사요원의 결과만을 고려하여 맞춘 검사요원의 수를 나눈 값으로 표시하였다(Table 1).

Table 1. Degree of difference and acceptability in various pairs.

	Pair	Degree of difference	Acceptability
Cooked pork loin	0 - 0.5	1.29	4:3
	0 - 1	1.42**	6:6
	0 - 2	1.70*	8:2
	0.5 - 1	1.75	4:0
	0.5 - 2	2.56	9:0
	1 - 2	2.20*	7:3
Fresh pork loin	0 - 0.5	2.00*	8:2
	0 - 1	2.33	8:1
	0 - 2	2.50***	16:0
	0.5 - 1	1.29	6:1
	0.5 - 2	2.92***	12:1
	1 - 2	2.20*	7:3

* Significant difference at 5%

** Significant difference at 1%

***. Significant difference at 0.1%

삼점검사 결과, 6가지 조합중에서 조리한 돈육 등심의 경우 0-1, 0-2, 1-2 짝 사이에서, 신선 돈육 등심의 경우 0-0.5, 0-2, 0.5-2, 1-2의 경우에 유의성 있는 결과를 얻었다. 이들 결과를 분석하여 보면, Table 1에서 보는 바와 같이 식별강도는 조사 수준간의 차이가 많이 날수록 높은 것으로 나타났다. 조리한 돈육 등심을 이용하여 검사한 결과의 경우 무처리 돈육 등심과 1kGy이상으로 감마선 조사시킨 돈육 등심 사이에 쉽게 구분 하였으며, 감마선량이 높아질수록 식별강도는 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 신선 돈육 등심의 경우에도 무처리 돈육 등심과 0.5, 1, 2 kGy 감마선 조사한 돈육 등심의 식별강도가 각각 2.00, 2.33, 2.50으로 증가함을

알 수 있으며, 조리한 돈육 등심을 이용하여 얻은 결과보다 식별강도가 높게 나타났는데 이는 조리과정중에 감마선취에 영향을 미치는 풍미물질이 휘발되었기 때문인 것으로 생각되어 진다.

신선돈육을 이용한 척도묘사분석법(Descriptive analysis with scaling)에 의한 결과가 Table 2에 나타나 있다. 향기는 처리간의 차이가 거의 나타나지 않았고($P>0.05$), 불쾌취는 감마선 조사선량에 따라서 증가하는 것으로 나타났다($P<0.05$). 신선돈육의 육색이 5%수준에서 유의성을 나타내는 것으로 관찰되었다($P<0.05$). 무처리 돈육을 가장 선호하였고 그 다음으로 0.5kGy수준으로 조사한 시료를 선호하는 것으로 나타났다.

Table 2. Descriptive analysis with scaling* of nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated fresh pork loins.

Items		Aroma	Off-flavor	Color**	Acceptability
Nonirradiated		5.00±1.58	3.18±1.91	5.15±1.46 ^a	5.02±1.75
Irradiated	0.5kGy	5.62±1.78	4.53±2.53	4.68±1.11 ^{a*}	4.76±1.55
	1kGy	5.44±1.89	4.32±2.48	3.85±1.06 ^b	4.44±1.39
	2kGy	5.94±1.89	4.88±2.32	4.88±1.66 ^b	4.52±1.76

* 0 : very weak, not acceptable, 10 : very strong, acceptable

** a significant difference at 0.5%

심부온도 70℃가 될 때까지 외부온도 200℃로 가열한 후 척도묘사분석법의 결과는 Table 3에 요약되어 있다. 연도와 다즙성에서 유의성이 나타났으며($P<0.05$) 0.5kGy를 가장 선호하였고 2kGy를 선호하지 않았다.

Table 3. Descriptive analysis with scaling* of nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated cooked pork loins.

Item Dose		Aroma	Flavor	Off-flavor	Tenderness**	Juiceness***	Acceptability
Nonirradiated		4.85±1.46	5.47±1.27	3.00±1.97	6.74±1.46 ^a	5.97±1.70 ^a	5.44±1.22
Irradiated	0.5kGy	5.41±0.87	5.68±1.32	3.32±2.30	5.53±1.50 ^b	5.06±1.65 ^{ab}	5.68±1.88
	1kGy	5.62±1.34	5.70±1.40	3.47±2.24	5.82±1.84 ^{ab}	5.26±1.51 ^{ab}	4.94±1.69
	2kGy	5.29±1.58	5.21±1.56	3.18±2.24	4.79±1.47 ^c	4.41±1.34 ^b	4.68±1.29

* 0 : very weak, not acceptable, 10 : very strong, acceptable

** a significant difference at 1%

*** a significant difference at 5%

이상의 결과를 종합해 보면, 2kGy를 조사하게 되면 초기 미생물 수준이 상당히 저하되어 저장기간이 증가할수 있고, 육색의 경우에도 3주차에 가장 우수한 것으로 평가되었다. 하지만 관능검사 결과, 방사선취를 쉽게 인지하기 때문에 기호성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 신선육 및 조리육의 경우에도 유사하게 무처리한 돈육의 기호성이 가장 우수하였다. 따라서 2kGy이상으로 조사한다는 것은 저장기간의 증진을 위해서는 유리하지만 상대적으로 관능적인 특성이 많이 떨어진다. 따라서 1.0kGy~1.5kGy 수준으로 조사할 경우 관능적 손실 없이 저장기간의 증가효과를 나타낼수 있다.

2. 전자선 조사를 이용하여 신선돈육 살균시 걱정 조사수준 확립

가. 연구내용 및 방법

1) 실험재료

실험재료는 시중에서 시판되는 돈육의 등심부위를 이용하였으며, 등지방은 완전히 제거하였고, 일정한 크기(두께 10cm)로 절단하여 전자선 조사에 이용하였다.

2) 전자선 조사 및 저장

실험재료의 전자선 조사는 호기적 조건에서 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 삼성중공업(주)중앙연구소 내 전자선 가속기를 이용하여 실온에서 1 MeV의 에너지 수준으로 총 흡수선량이 0.5kGy, 1kGy, 2kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 전자선의 투과 깊이가 4mm이기 때문에 위면과 아래면을 각각 1회씩 조사하였다. 전자선 조사 처리된 시료는 비조사 대조시료와 함께 $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 냉장상태로 저장하면서 실험에 이용하였다.

3) 생균수 계수

APHA(1985)의 Swab contact method를 수정하여 시료에서 미생물을 채취하였다. 면적이 10cm²인 주형판을 이용하였다. 호기적 증온성 균수는 위의 시료액 1ml을 Aerobic Count PetrifilmTM(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 분주하여 37^oC에서 2일간 배양한 후 균락수를 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 1ml을 분주하여 37^oC에서 2일간 배양한 후 계수하였다. 내냉성균은 증온성균수와 마찬가지로 Aerobic Count PetrifilmTM(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 1ml을 분주하여 $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 2주(14일)간 배양한 후 계수하였다.

4) 이화학적 특성 변화

가) TBA

시료의 저장 중 지방산패정도를 조사하기 위해서 TBA는 Witte 등 (1970)의 방법을 이용하여 TBA추출법으로 측정하였다. Thiobarbituric acid를 첨가하여 암실에서 15시간 발색시켜 UV-Spectrometer를 이용하여 530nm에서 흡광도를 측정하였고, 다음 식에 의해서 ppm단위로 환산하였다.

$$TBA(ppm) = Absorbance \times 5.2$$

나) VBN

단백질의 변패 정도를 조사하기 위하여 휘발성 염기태 질소를 Conway법 (이와 성, 1989)을 이용하여 측정하였다. 고기시료를 Sg, 공시험 측정치를 bml, 본 실험 적정치 aml, 0.0001N H₂SO₄의 표준화 기수를 f라고 할 때, 다음식에 의해서 VBN값을 산출하였다.

$$VBNmg\%(mg/100g \text{ sample}) = \frac{(a-b) \times f \times 0.0001 \times 14.007}{S} \times 100 \times 100$$

다) 육색

Chroma Meter(Model CR-210, Minolta Co., LTD., Japan)를 사용하여 돈육의 CLE system의 L*, a*, b*값을 측정하였다. 색차분석(total color difference, ΔE*)은 다음과 같은 식을 이용하여 측정된 두 색 사이의 종합적인 차이를 분석하였다.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L1^* - L2^*)^2 + (a1^* - a2^*)^2 + (b1^* - b2^*)^2}$$

라) pH

pH meter(Model 5985-80 Digi-Sense® pH meter, Cole-parmer

Instrument Company, USA)를 이용하여 측정하였다.

5) 관능적 특성 변화

관능검사는 10~20명의 관능요원에 의해서 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)을 신선돈육과 조리한 돈육(심부온도 70℃)을 대상으로 실시하였다(김광욱 등, 1995). 삼점검사는 같은 두 시료와 다른 한 시료를 함께 주고 다른 것을 골라내는 방식으로 진행하여 전자선 조사취의 관능적 분리 수준을 알아보려 하였다. 척도묘사분석법은 신선육의 경우 색, 향기, 불쾌취, 기호성을, 조리육에서는 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성, 기호성을 조사하였다.

6) 통계분석

통계 분석을 위해 위의 실험을 3반복 수행하였으며, SAS(1995) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 Duncan test를 수행하였다.

나. 연구결과 및 고찰

1) 생균수 변화

전자선을 조사한 돈육 등심의 저장 중 총균수, 내냉성균, 젖산균의 변화는 Figure 1, 2, 3에 각각 나타내었다. Figure 1에서 보는바와 같이 총균수의 경우에 저장 10일 때에 전자선을 조사하지 않은 돈육 등심이 부패 기준인 10^7 CFU(colony forming unit)/cm²(Ayres, 1960;Hanna등, 1979)을 넘었으며 전자선은 감마선에 비하여 무과력이 낮다고 보고되고 있는데(Hayashi, 1991), 식육의 경우에 미생물에 의한 오염은 표면에서 주로 이루어지기 때문에 전자선 조사에 의해서 미생물의 사멸 또는 생장 억제효과를 나타내고 있다. 하지만, 돈육 등심을 이용한 민 등(1997)의 결과와 비교해 볼 때, 감마선 조사한 경우에 보다 그 효과가 큰 것으로 나타났

다. 또한 Gotoh 등은 감마선과 전자선의 살균 효과를 비교하였는데 조사된 햄의 저장 중에 미생물의 성장은 감마선조사한 햄보다 전자선 처리한 햄에서 더 빠르다고 보고하였다.

전자선을 조사한 돈육의 호기적 증온성균의 변화는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 전자선을 조사한 날의 미생물수준은 전자선을 조사한 돈육등심의 경우

10^3 CFU(colony forming unit)/cm²미만의 결과를 보인 반면 전자선을 조사하지 않은 돈육등심은 10^8 CFU(colony forming unit)/cm²를 초과하여 가장 높은 수준을 나타내었다. 저장기간동안 전자선 조사선량이 많아질수록 미생물의 감소정도는 크게 나타났으며, 2kGy 수준으로 조사한 경우에는 저장기간 7일 전까지 10^3 CFU(colony forming unit)/cm²미만의 수준을 유지하였고, 저장기간동안 가장 낮은 미생물수준을 보였다. 0.5kGy와 1kGy 수준은 저장기간 7일째에 0.5kGy 수준으로 조사한 돈육등심이 10^5 CFU(colony forming unit)/cm²이상으로 1kGy조사 수준보다 높았으나, 저장기간 초기와 10~14일에서는 0.5kGy가 더 낮았다. Luchsinger 등 ((1996)은 전자선 조사한 돈육을 3℃, -17℃에서 각각 저장하여 살펴본 결과 저장온도 3℃, -17℃에서 모두 전자선 조사선량이 많아질수록 미생물의 성장억제효과가 높았다고 보고하였다. Fig. 2는 내냉성균의 변화로서 일반적으로 냉장온도에서 증식하는 미생물의 변화를 살펴본 것이다. 내냉성균에 의한 부패수준은 일반적으로 log₁₀ 7.00 (10⁷)CFU/cm²로 알려져 있으며(Ayres, 1960; Hanna 등, 1979), 본 연구 결과에 의하면 저장기간 10일 이전까지는 모든 시료가 부패수준을 넘지 않았지만, 그 이후에는 전자선 조사를 하지 않은 시료와 1kGy수준으로 전자선 조사한 돈육 등심의 경우 부패수준까지 도달하였으며, 0.5kGy를 조사한 시료의 경우에는 14일이 지나면서 부패수준에 도달하였다. 2kGy의 경우에는 대략 저장기간 15일정도가 지나야 부패수준에 도달할 것으로 예상이 되어진다. Fig. 3은 젖산균의 변화정도를 나타낸 것으로써 젖산균에 의한 부패수준인 log₁₀

8.00(10⁸)CFU/cm²에 도달하는 기간을 살펴보면 저장기간 14일이 지나도 전자선을 조사한 경우나 조사하지 않은 경우 모두 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 이 결과는 민 등(1997)의 감마선 조사에 의한 신선돈육의 젖산균의 변화와 유사하게 나타났다. 저장기간동안 모든 시료는 일정한 증가추세를 보였고, 그중 전자선 조사를 하지 않은 돈육 등심의 경우 초기젖산균수가 10²CFU/cm² 미만으로 가장 낮았고, 저장기간동안 전자선 조사를 한 시료들보다 높은 미생물 수준을 나타내고 있다. 즉 0.5kGy이상으로 조사한 경우에는 호기성 증온성균수, 젖산균수, 내냉성균수를 전자선 조사를 하지 않은 경우보다 일반적으로 낮게 유지할 수 있어서 저장기간을 증가시킬 수 있다.

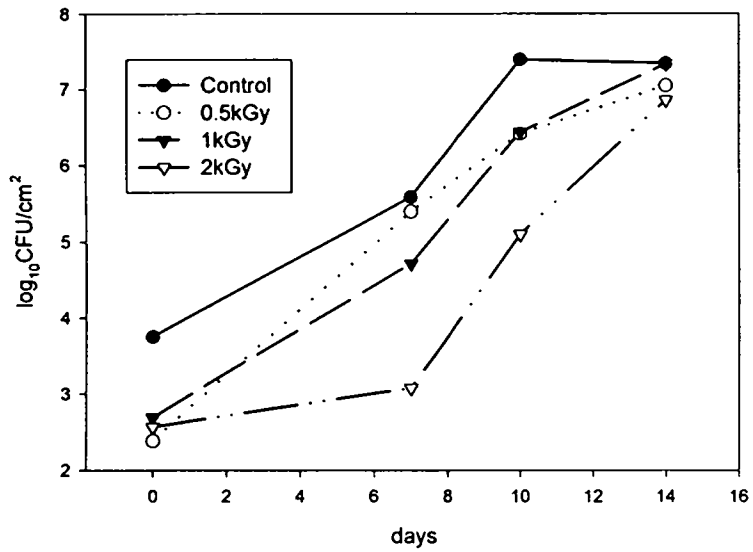


Figure 1. Changes of total plate counts of pork loins irradiated with electron beam

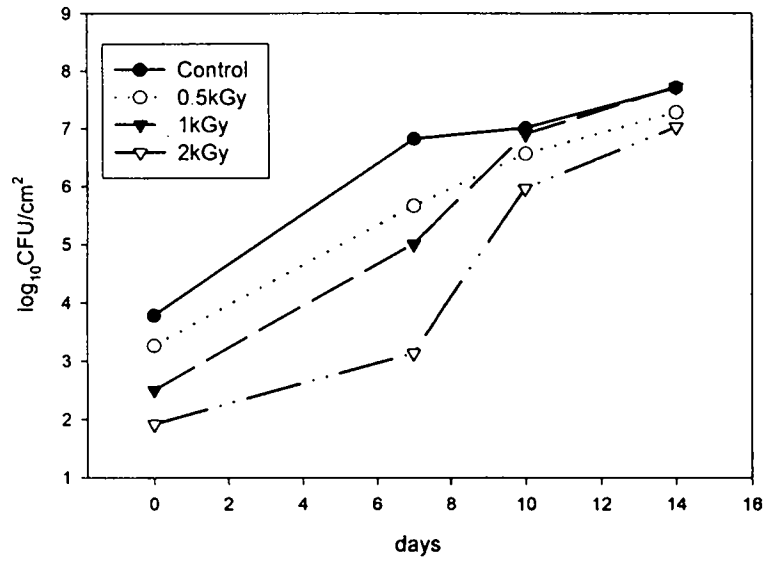


Figure 2. Changes of psychrotrophs of pork loins irradiated with electron beam

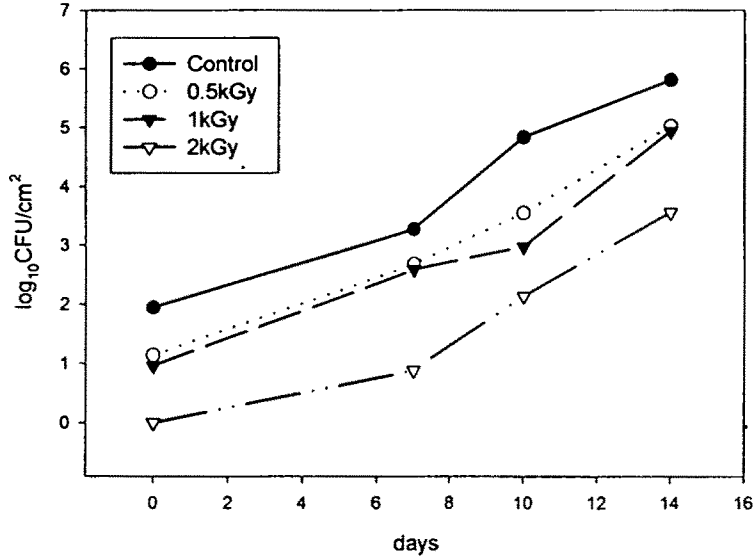


Figure 3. Changes of lactic acid bacteria of pork loins irradiated with electron beam

2) 이화학적 변화

가) 지방산화

전자선조사는 일반적으로 다른 형태의 에너지 이동이 일어나지만, 식품의 경우 Compton 효과가 주로 일어난다. 이 경우에, 투과되는 광자(photon)가 orbital electron이 방출되는 방식으로 흡수하는 매개물질과 상호작용을 하게된다(Stevenson, 1992). 저장중에 돈육내에 존재하는 지방산들이 분해되면서 생성되는 여러 가지 생성물질 중에서 malonaldehyde와 2-thiobarbituric acid와 결합하여 생성되는 붉은색 complex의 강도를 UV-spectrometer에 의해 측정한 값으로 값이 크면 클수록 지방산화가 많이 일어났음을 의미한다. Fig. 4는 전자선 조사선량에 따른

TBA(thiobarbituric acid) value의 변화를 나타내는 결과로서 전자선을 조사한 것과 조사하지 않은 것 모두 저장기간이 길어질수록 TBA value는 증가하는 것을 알 수 있다. 저장기간 5일까지는 모든 시료가 0.07 ~ 0.13mgMA/kg범위였고, 5일 이후부터는 계속해서 2kGy를 조사한 시료가 가장 높은 지방산화정도를 나타내었다. Ahn 등(1998)의 결과에서는 저장 3일 이후에 전자선 조사를 한 돈육의 경우가 전자선 조사를 하지 않은 돈육보다 현저히 높은 TBA value를 나타내었고, 저장기간 14일동안 전자선 조사를 한 돈육의 TBA value가 더 빠르게 증가하였다고 보고하였다. 0.5kGy를 조사한 시료를 제외하고 전자선 조사를 하지 않은 시료와 1kGy, 2kGy의 경우는 저장 7일 이후부터 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 전자선을 조사한 시료의 경우 대체로 2주가 되면서 급격하게 지방산화가 일어나게 되는 것을 알 수 있고, 저선량을 조사할 경우에는 지방산화에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 생각되며, 근육조직내의 지방함량의 차이에 의해서도 나타날 수가 있다.

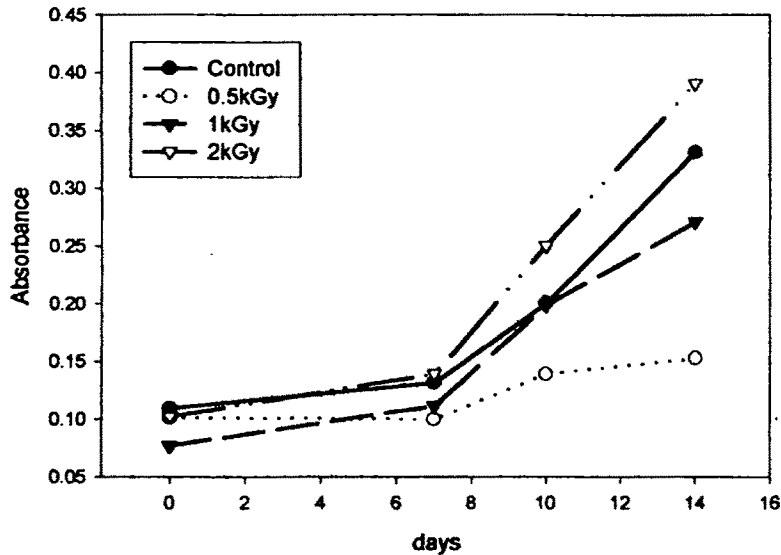


Figure 4. Changes of TBA values of pork loins irradiated with electron beam.

나) VBN 변화

일반적으로 식육은 저장 중에 근육단백질이 아미노산과 그 외에 여러 가지 무기태 질소로 분해가 되는데 이는 단백질의 가수분해에 따른 아미노산과 펩타이드의 증가에 의해서 휘발성 염기태 질소(Volatile Basic Nitrogen: VBN)가 증가한다. 이 뿐만 아니라, adenosyl monophosphate(AMP)의 분해에 따른 암모니아의 생성과 nucleotide의 증가에 의해서도 영향을 받는다. 우리나라 식품공전에는 생육 및 포장육에 한하여 휘발성염기태질소(VBN)의 함량은 20mg%이하로 규정되어 있는 반면에 일본에서는 30mg%이하로 되어 있으며 수입식육에 대한 유통기한 설정 시 이 기준을 적용하고 있다. 高坂 등(1991)은 휘발성 염기태 질소(VBN)에 의한 저장성 판정에 있어서 생육 가식권의 한계는 30mg%라고 하였다. Fig. 5는 전자선 조사선량에 따른 VBN(volatile basic nitrogen)value의

변화를 나타내는 결과로서 전자선을 조사한 것과 조사하지 않은 것 모두 저장기간이 길어 질수록 VBN value는 증가하는 것을 알 수 있다. 저장기간 7일까지는 모든 시료가 20mg%미만으로 비슷한 수준을 나타내었고, 7일 이후부터는 전자선을 조사하지 않은 돈육등심의 경우 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 0.5kGy와 1kGy, 2kGy의 경우 저장 기간 10일까지는 우리나라 식품공전에서 부패수준으로 규정된 VBN value 20mg%이하의 수준을 나타내었다. 野崎 등(1992)에 의하면 휘발성 염기질소는 세균의 증식정도와 밀접한 관계가 있어서 세균수가 증가하여 관능적으로 초기부패가 느껴질 때까지는 그 증가폭이 적고 그 이후에는 급속히 변화된다고 하였다. 전자선을 조사한 후 7일까지는 VBN value가 그리 크게 변화가 없으나 10일 이후부터는 우리나라 식품공전에서 규정한 부패수준이상으로 휘발성염기태질소(VBN)가 현저히 증가되는 것을 알 수 있다.

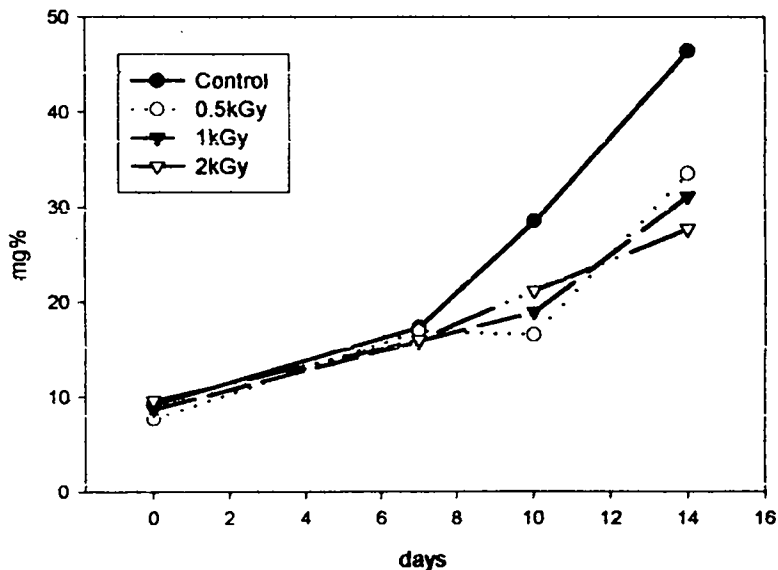


Figure 5. Changes of VBN values of pork loins irradiated with electron beam

다) 육색변화

신선육에서의 육색은 최종소비자가 구입할 때에 매우 중요하게 작용하는 관능적인 요인이다. 일반적으로 어떤 특정식품에 대해서는 과거의 경험과 소비자들이 가지고 있는 상식, 경우에 따라서는 편견을 통해서 어떤 특정한 색을 기대 또는 연상하게 된다. 따라서 식품의 색은 그 식품에 대한 소비자들의 기호성에 많은 영향을 미치는 요인이 되며 또한 그 식품의 품질을 결정하는 중요한 척도가 된다. 그러므로 전자선 조사선량에 따른 육색의 변화를 살펴보는 것은 매우 중요하다. 본 실험에서는 CIE $L^* a^* b^*$ 를 이용하여 육색을 객관화하였다. Fig. 6은 백색도를 나타내는 지표인 L^* value의 저장 중 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 저장기간이 진행됨에 따라서 L^* value는 증가하는 경향이 나타나고 있다. 전자선을 조사하지 않은 돈육등심의 경우 저장기간 7일까지 급격히 증가하다가 10일까지는 감소하는 경향을 보였고 이후 다시 서서히 증가하였다. 반면 1kGy의 경우 10일까지 서서히 증가하다가 이후 14일까지 감소하는 추세를 나타내었다. 일반적으로 저장기간동안 0.5kGy, 2kGy, 전자선 조사를 하지 않은 시료, 1kGy순으로 L^* value순으로 높았다. Luchsinger 등(1996)의 연구결과를 살펴보면 저장기간에 따라서 L^* value가 증가한다고 보고하였다. 특히 통기성 포장한 경우에 2.5kGy, 1.5kGy를 조사한 시료가 현저한 증가를 보고하였다. a^* value는 적색도를 나타내는 지수로서 Fig. 7에 나타난 결과를 살펴보면 저장기간 초기에는 전자선을 조사하지 않은 시료가 가장 높았으나 저장기간 14일째에는 0.5kGy와 1kGy의 경우가 가장 높은 적색도를 나타내었고 이 두 시료중 1kGy의 경우는 저장기간 6일에서 8일까지 약간 높은 수준을 보였으나 그외 모든 저장기간에서는 0.5kGy의 경우가 더 높은 수준을 유지하였다. 전자선 조사선량이 가장 높은 2kGy의 경우는 저장기간 동안 다른 시료들에 비해 가장 낮은 적색도를 유지하였다. Luchsinger 등(1996)은 저장기간에 따라서 전자선 조사처리하여 진공포장한 시료가 통기성 포장한 시료보다 높은 수준을 보였고, 진공포장한

시료중 2.5kGy, 1.5kGy, 전자선 처리를 하지 않은 시료순으로 적색도를 나타내었다. b^* value는 황색도를 나타내는 지수로서 a^* value와 함께 식육색을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 저장기간중에 a^* 의 변화를 살펴보면 모든 시료가 점진적으로 증가하는 경향을 나타내었고, 일반적으로 저장기간이 증가함에 따라 전자선을 조사한 시료중 0.5kGy의 경우가 가장 높은 수준을 나타내었으며, 2kGy로 조사된 경우는 저장기간 초기를 제외하고 1일이후부터 14일까지 가장 낮은 수준을 나타내었다(Fig. 8).

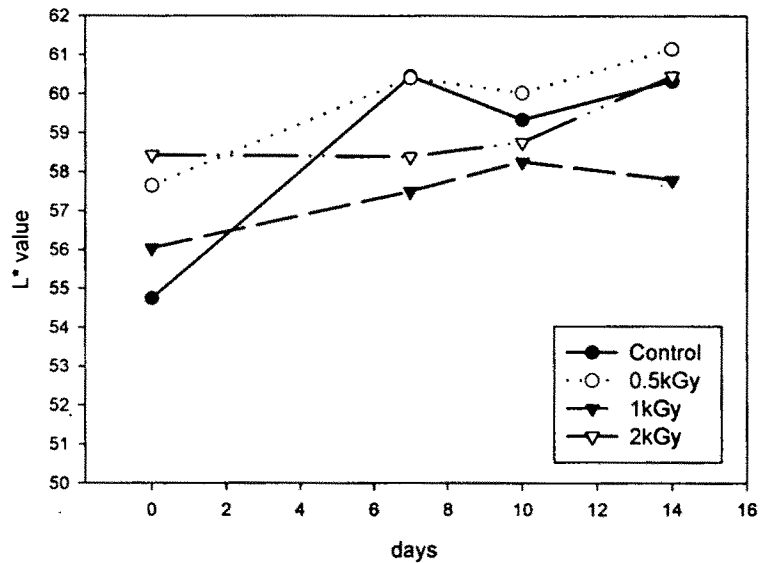


Figure 6. Changes of CIE L* values of pork loins irradiated with electron beam

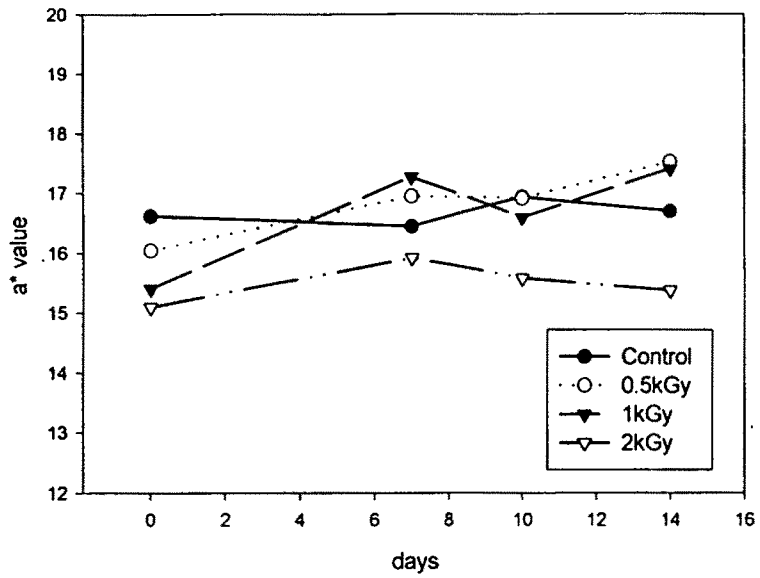


Figure 7. Changes of CIE a* values of pork loins irradiated with electron beam

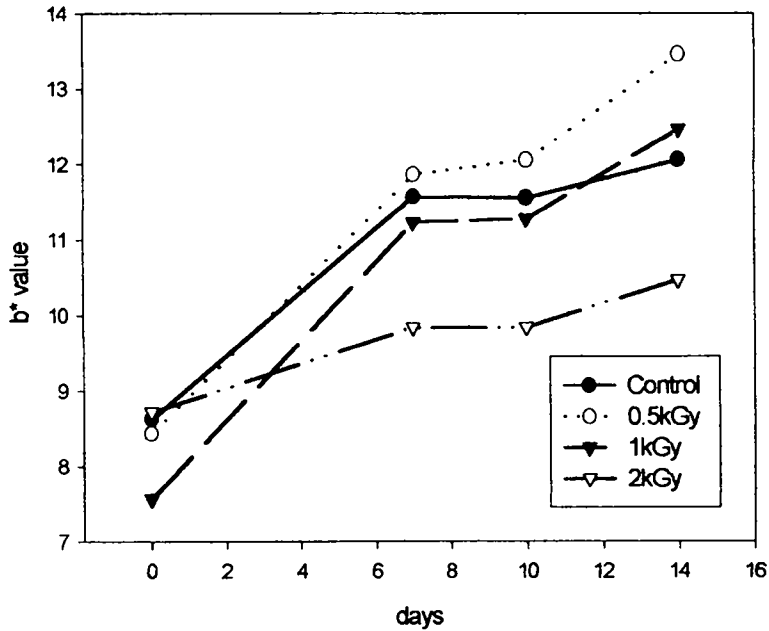


Figure 8. Changes of CIE b* values of pork loins irradiated with electron beam.

라) pH변화

pH는 돈육의 저장 중 품질에 중요한 영향을 미치는 요인중의 하나로 일반적인 신선육의 최종 pH는 5.4로 알려져 있다. 전자선 조사후 돈육 등심의 pH 변화는 Table 1에 나타낸 바와 같이 저장기간이 증가함에 따라 전자선 조사를 하지 않은 시료와 0.5kGy의 경우는 점차 pH는 증가하는 경향을 나타냈고, 1kGy와 2kGy의 경우는 저장기간 7일에 급격히 높은 수준을 나타냈으며 이후 다소 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 저장 중에 산패정도가 높아질수록 식육의 pH는 높아지는 경향이 있으며(Holley 등, 1994), 본 실험에서도 유사한 경향을 나타냈다. 저장중에 0일, 7일, 14일에는 고도의 유의성을 보였고($P < 0.01$), 저장기간 10일에는 유의적인 차이를 나타내었다($P < 0.05$).

Table 1. Changes of pH values of pork loins irradiated with electron beam.

Treatments	days			
	0**	7**	10*	14**
Control	5.54±0.05 ^a	5.56±0.06 ^b	5.57±0.07 ^{ab}	5.72±0.08 ^a
0.5kGy	5.47±0.06 ^b	5.45±0.08 ^c	5.48±0.08 ^b	5.51±0.08 ^b
1kGy	5.34±0.03 ^d	5.60±0.04 ^b	5.50±0.10 ^b	5.54±0.11 ^b
2kGy	5.39±0.08 ^c	5.78±0.04 ^a	5.61±0.11 ^a	5.65±0.09 ^a

a, b, c, d Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

* P < 0.05 ; ** P < 0.01

3) 관능검사

삼점검사(Triangle test)는 전자선 조사를 하지 않은 돈육 등심과 0.5, 1, 2kGy수준으로 전자선 조사된 돈육 등심을 2종류씩 짝을(0-0.5, 0-1, 0-2, 0.5-1, 0.5-2, 1-2) 지어 총 6짝을 비교하였다. 이중에 각 조합에서 시료간의 차이를 구분한 경우가 10이상인 경우에 한해서 식별강도를 구할 수 있었다. 각 식별강도는 낮음(slight), 보통(moderate), 많음(much), 매우 많음(extreme)에 각각 1, 2, 3, 4 점을 주어 각각을 지목한 사람 수를 곱하여 이것을 전체 맞춘 사람 수로 나누어 수식화 하였다. 선호도 조사는 두 종류의 시료중 다른 하나를 구별할 수 있었던 검사요원의 수를 나눈 값으로 표시하였다(Table 2). 삼점검사 결과 6가지 조합중에서 조리한 돈육 등심의 경우 0.5-1짝 사이에서, 신선 돈육 등심의 경우 0-0.5, 0-1의 경우에 유의성있는 결과를 얻었다. 이들 결과를 분석하여 보면, Table 2에서 보는 바와 같이 식별강도는 민 등(1997)이 보고한 감마선 조사된 돈육 등심의 경우 조사 수준간의 차이가 많이 날수록 높은 것으로 나타낸 반면 본 실험에서는 조사 수준간의 차이가 적게 날수록 높은 것으로 나타내었다. 조리한 돈육 등심을 이용하여 검사한 결과의 경우 무처리 돈육 등심과 전자선 조사시킨 돈육 등심사이의 식별강도보다는 전자선 조

사된 시료들간이 더 높은 것을 나타내었다. 반면 신선 돈육 등심의 경우 무처리 돈육 등심과 전자선 조사시킨 돈육 등심 사이의 식별강도가 더욱 높은 수준을 나타내었고, 그 식별강도 수준은 조리된 돈육등심의 경우보다 더 높게 나타났는데 이 결과는 조리과정중에 전자선취가 영향을 미치는 풍미 물질이 휘발되었기 때문인 것으로 생각되어 진다.

신선돈육을 이용한 척도묘사분석(Descriptive analysis with scaling)에 의한 결과가 Table 3에 나타나 있다. 불쾌취는 전자선 조사선량이 증가함에 따라서 그양도 증가하는 것으로 나타났고 신선돈육의 육색은 유의성을 나타내는 것으로 관찰되었다($P < 0.05$). 전자선 조사를 하지 않은 돈육등심을 가장 선호하였고 그 다음으로 0.5kGy, 2kGy, 1kGy수준으로 조사한 시료순으로 선호하는 것으로 나타났다. Table 4는 조리한 돈육등심의 척도묘사분석의 결과이다. 풍미는 2kGy수준으로 전자선 조사된 돈육등심이 가장 낮았고, 불쾌취의 경우는 신선육의 경우와는 모든 시료가 비슷한 수준을 나타내었다. 연도와 다즙성은 무처리 돈육등심이 가장 높은 수준을 나타내었고, 연도는 고도의 유의성을 나타내었고($P < 0.01$), 다즙성은 5% 수준에서 유의성을 나타내는 것으로 관찰되었다($P < 0.05$).

이상의 결과를 종합해 보면 미생물의 성장억제효과는 2kGy수준으로 전자선 조사되었을 때 저장기간이 증가함에 따라 가장 우수한 것으로 평가된 반면 관능검사에서 신선육의 방사선취가 쉽게 인지하기 때문에 기호성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서 2kGy이상으로 조사한다는 것은 저장기간의 증진을 위해서는 유리하지만 상대적으로 관능적인 특성이 많이 떨어진다. 이 결과로 0.5kGy ~ 1.5kGy수준으로 조사할 경우 관능적 손실 없이 저장기간의 증가효과를 나타낼 수 있다.

Table 2. Degree of difference and acceptability in various pairs.

	Pair	Degree of difference	Acceptability
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

Table 3. Descriptive analysis with scaling of fresh pork loins irradiated with electron beam.

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

Table 4. Descriptive analysis with scaling of cooked pork loins after irradiation with electron beam.

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

a, b, c, d Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

* P < 0.05 ; ** P < 0.01

제 2 절 저 수준 전자선 살균을 이용한 신선우육의 위생적 품질개선 기술개발

1. 감마선 조사를 이용하여 신선우육 살균시 적정 조사수준 확립

가. 연구내용 및 방법

1) 실험재료

실험재료는 시중에서 시판되는 우육의 등심부위를 이용하였으며, 등지방은 완전히 제거하였고, 일정한 크기(두께 10cm)로 절단하여 감마선 조사에 이용하였다.

2) 감마선 조사 및 저장

실험재료의 감마선 조사는 호기적 조건에서 폴리에틸렌 필름으로 포장

하여 한국원자력연구소 내 선원 100,000 Ci의 ^{60}Co 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 1kGy의 선량률로서 0.5kGy, 1kGy, 2kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 총 흡수선량의 오차는 $\pm 5\%$ 내외였으며 감마선 조사처리된 시료는 비조사 대조시료와 함께 $4\pm 2^\circ\text{C}$ 의 냉장상태로 저장하면서 실험에 이용하였다.

3) 생균수 계수

APHA(1985)의 Swab contact method를 수정하여 시료에서 미생물을 채취하였다. 면적이 10cm^2 인 주형판을 이용하였다. 호기적 증온성 균수는 위의 시료액 1ml을 Aerobic Count PetrifilmTM(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 분주하여 37°C 에서 2일간 배양한 후 균락수를 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 1ml을 분주하여 37°C 에서 2일간 배양한 후 계수하였다. 내냉성균은 증온성균수와 마찬가지로 Aerobic Count PetrifilmTM(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 1ml을 분주하여 $4\pm 2^\circ\text{C}$ 에서 3주(21일)간 배양한 후 계수하였다.

4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)

1차년도에서 같은 방법으로 시료의 저장중 지방산패정도를 조사하기 위하여 일주일 간격으로 Witte(1970)의 방법에 의해 TBA가를 측정하였고, 휘발성 염기태 질소(VBN)는 高坂(1975)의 방법에 의해서 측정하였다. 저장기간동안 육색의 변화를 분석하기 위하여 육색은 Chroma 미터(Minolta CR-210, Japan)를 이용하여 CIE $L^* a^* b^*$ 값을 측정하였다. pH는 포터블 pH 미터(Cole-Parmer Instrument Company, 미국)를 이용하여 측정하였다.

5) 관능적 특성 변화

관능검사는 10~20명의 관능요원에 의해서 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)을 신선우육과 조리 한 우육(심부온도 70℃)을 대상으로 실시하였다(김광욱 등, 1995). 삼점 검사는 같은 두 시료와 다른 한 시료를 함께 주고 다른 것을 골라내는 방식으로 진행하여 감마선 조사취의 관능적 분리 수준을 알아보려 하였다. 척도묘사분석법은 신선육의 경우 색, 향기, 불쾌취, 기호성을, 조리육에서는 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성, 기호성을 조사하였다.

6) 통계분석

통계 분석을 위해 위의 실험을 3반복 수행하였으며, SAS(1995) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 Duncan test를 수행하였다.

나. 연구결과 및 고찰

1) 미생물 변화

감마선을 조사한 우육의 호기적 증온성균의 변화는 Fig 1. 에 나타난 것과 같이 감마선을 조사한 날의 미생물 수준은 감마선을 조사하지 않은 경우에 가장 높은 수준으로 나타났다. 대략 10^2 CFU(colony forming unit)/cm² 이하의 수준으로 검출되었고 초기 감마선 조사선량이 많아질수록 미생물의 감소정도는 크게 나타났으며 감마선을 조사한 경우는 거의 검출되지 않았다. 일반 세균에 의한 부패수준인 $\log_{10} 7.00(10^7)$ CFU/cm²에 도달하는데 감마선을 조사하지 않은 경우에는 2주정도가 걸렸고, 전자선 조사된 우육의 경우 21일까지 도달하지 못했다. 저장기간이 길어질수록 조사선량에 따라 미생물 수준의 차이가 나타났는데 2kGy, 1kGy, 0.5kGy순으로 미생물 성장억제 효과가 높았다. 결과적으로 감마선 조사선량에 따라서 증온성균 수준에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

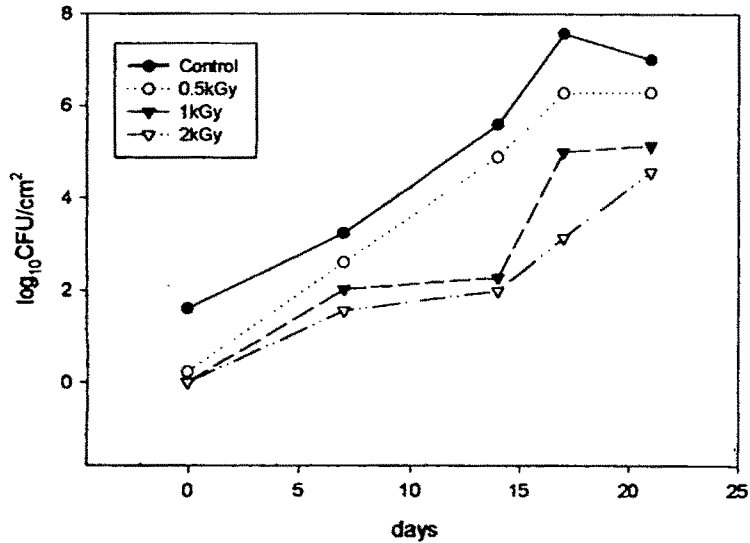


Figure 1. Changes of total plate counts of beef loins irradiated with gamma-ray

Fig. 2는 내냉성균의 변화로서 일반적으로 냉장온도에서 증식하는 미생물의 변화를 살펴본 것이다. 내냉성균에 의한 부패수준은 일반적으로 $\log_{10} 7.00(10^7)$ CFU/cm²로 알려져 있으며(Ayres, 1960), 본 연구 결과에 의하면 감마선을 조사하지 않은 경우에는 2주 이후에 부패수준에 도달하였다. 일반적으로 내냉성균도 중온성균과 마찬가지로 저장기간이 길어짐에 따라 감마선 조사수준이 높을수록 미생물의 성장억제효과가 높았다. 내냉성균에서는 감마선조사를 하지않은 우육의 경우 유의성을 나타내었고 ($P < 0.01$), 감마선 조사를 한 경우에는 $P < 0.001$ 수준에서 유의성을 나타내었다.

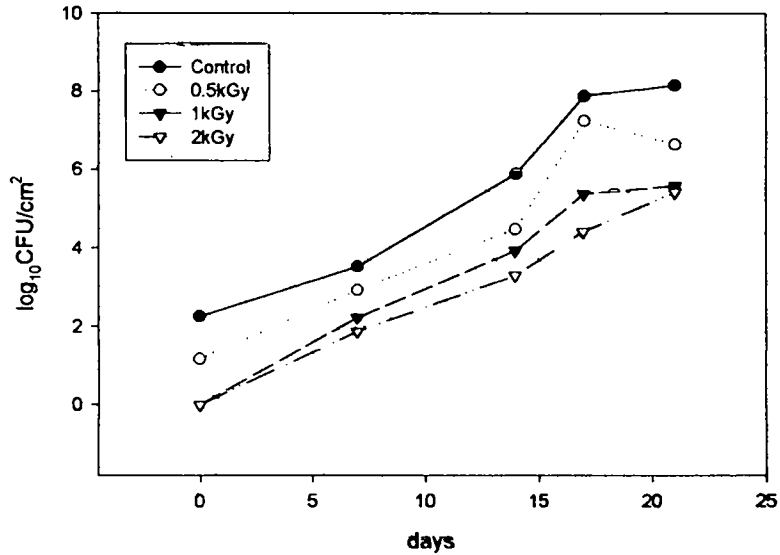


Figure 2. Changes of psychrotrophs of beef loins irradiated with gamma-ray

Fig. 3은 젖산균의 변화정도를 나타낸 것으로써 젖산균에 의한 부패수준인 $\log_{10} 8.00(10^8)\text{CFU}/\text{cm}^2$ 에 도달하는 기간을 살펴보면 저장 21일이 지나도 감마선을 조사한 경우나 조사하지 않은 경우 모두 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

젖산균수는 무처리 우육등심과 0.5kGy수준으로 감마선 조사된 시료가 $P < 0.01$ 수준에서 유의성을 나타냈고, 1kGy, 2kGy수준에서 조사된 시료의 경우는 $P < 0.001$ 수준에서 고도의 유의적인 차이를 나타냈다.

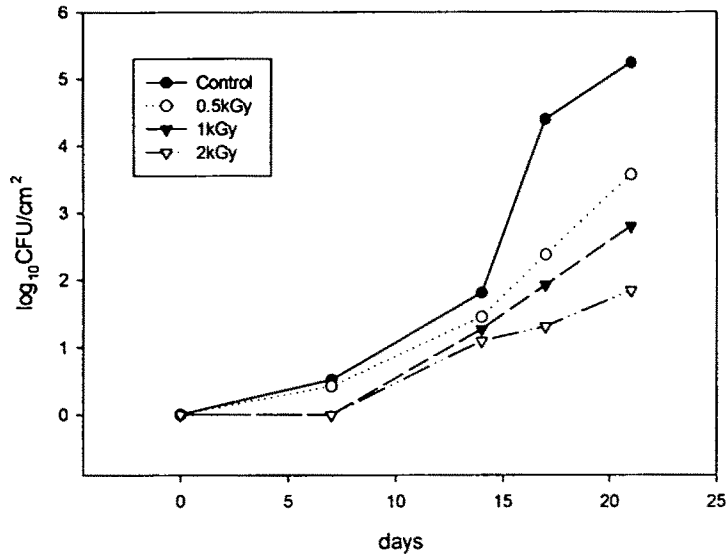


Figure 3. Changes of lactic acid bacteria of beef loins irradiated with gamma-ray

본 실험에서는 호기적 중온성균, 젖산균수, 내냉성균수 모두 감마선에 민감하게 반응함을 알 수가 있었다. 특히 저장초기에 감마선 조사된 시료의 경우 각 균총에 미치는 효과는 높았으나 2주가 지나면서 0.5kGy 수준으로 조사한 경우에는 급속한 미생물의 성장으로 감마선을 조사하지 않은 경우와 차이가 크게 나타나지 않고 있음을 알 수 있다. 즉 1kGy 이상으로 조사할 경우에는 호기성 중온성균, 젖산균수, 내냉성균수를 1kGy 미만으로 조사하거나 하지 않은 경우보다 낮게 유지할 수 있어서 저장기간을 증가시킬 수 있다.

2) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)

저장 중에 우육내에 존재하는 지방산들이 분해되면서 생성되는 여러 가지 생성물들 중에서 malonaldehyde와 2-thiobarbituric acid와 결합하여

생성되는 붉은색 complex의 강도를 UV-spectrometer에 의해 측정된 값으로 값이 크면 클수록 지방산화가 많이 일어났음을 의미한다. Figure 4는 감마선 조사선량에 따른 TBA(thiobarbituric acid) value의 변화를 나타내는 결과로서 대체적으로 감마선을 조사한 것과 조사하지 않은 것 모두 저장기간이 길어질수록 TBA value는 증가하는 것을 알 수 있다. 감마선 조사선량에 따라서도 차이가 있는 것으로 보아 저선량을 조사할 경우에는 지방산화에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 생각되며, 근육조직내의 지방함량의 차이에 의해서도 나타날 수가 있다. 감마선을 조사한 후 1주까지는 지방산화가 그리 크게 변화가 없으나 2주가 되면서 급격하게 지방산화가 일어나게 되는 것을 알 수 있다. 감마선을 조사하지 않은 우육등심과 감마선 조사된 우육 모두 $P < 0.001$ 수준에서 고도의 유의성을 나타내었다.

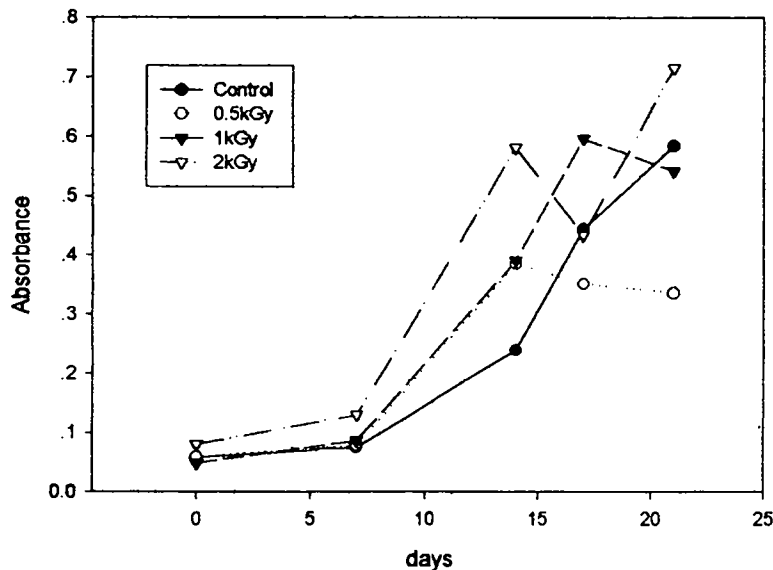


Figure 4. Changes of TBA values of beef loins irradiated with gamma-ray.

Fig. 5는 감마선 조사선량에 따른 VBN(volatile basic nitrogen)value의 변화를 나타내는 결과로서 감마선을 조사한 것과 조사하지 않은 것 모두 저장기간이 길어질수록 VBN value는 증가하는 것을 알 수 있다. 저장기간 7일까지는 모든 시료가 20mg%미만으로 비슷한 수준을 나타내었고, 14일 이후부터는 감마선을 조사하지 않은 우육등심의 경우와 감마선 조사된 우육을 경우 모두 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 0.5kGy와 1kGy, 2kGy의 경우 저장 기간 7일까지는 우리나라 식품공전에서 부패수준으로 규정된 VBN value 20mg%이하의 수준을 나타내었고, 모든 시료가 $P < 0.001$ 수준에서 유의성을 나타내었다. 野崎 등(1992)에 의하면 휘발성 염기질소는 세균의 증식 정도와 밀접한 관계가 있어서 세균수가 증가하여 관능적으로 초기부패가 느껴질 때까지는 그 증가폭이 적고 그 이후에는 급속히 변화된다고 하였다.

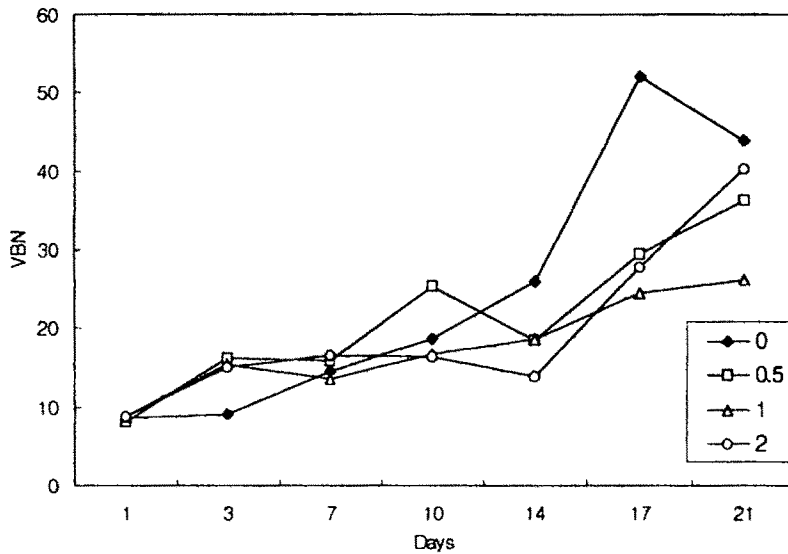


Figure 5. Changes of VBN values of beef loins irradiated with gamma-ray

Fig. 6은 백색도를 나타내는 지표인 L^* value의 저장 중 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 저장기간 17일까지는 L^* value는 감소하는 경향이 나타나고 있다. a^* value는 적색도를 나타내는 지수로서 Fig. 7에 나타난 결과를 살펴보면 저장기간 중에 높은 감마선량으로 조사한 것이 하지 않은 시료에 비해 높은 수치를 나타내었다. 저장기간이 진행됨에 따라서 적색도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 Luchsinger 등(1996)과 유사한 경향을 나타내고 있다. 감마선량을 높게 가할수록 보다 붉은색을 띠는 것으로 나타났는데 이는, 1~2kGy수준으로 조사할 경우의 우육의 육색이 더 붉어 소비자들이 좋아한다고 할 수도 있다. b^* value는 황색도를 나타내는 지수로서 a^* value와 함께 식육색을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 저장기간중에 변화를 살펴보면 감마선 조사선량이 증가할수록 황색도는 높았고 모든 우육등심은 저장초기 서서히 감소하다가 저장기간이 증가할수록 거의 일정한 수준을 유지하였고 17일 이후부터는 증가하는 추세

를 나타냈다(Figure 8). 이러한 경향은 미생물이 증식함에 따라서 미생물에 의해 산소분압이 낮추거나 pH를 변화시켜 myoglobin의 산화를 촉진시키고, heme 색소의 globin부분을 분해하여 myoglobin의 색을 갈색으로 변하게 하고 색소를 생성하여 변색반점등이 형성되므로 전체적으로 신선육의 색이 갈색으로 변하게 된다. 따라서 적색도가 감소하게 되고, 이에 반해 b^* value는 점차로 증가하게 되는 것으로 생각되어진다.

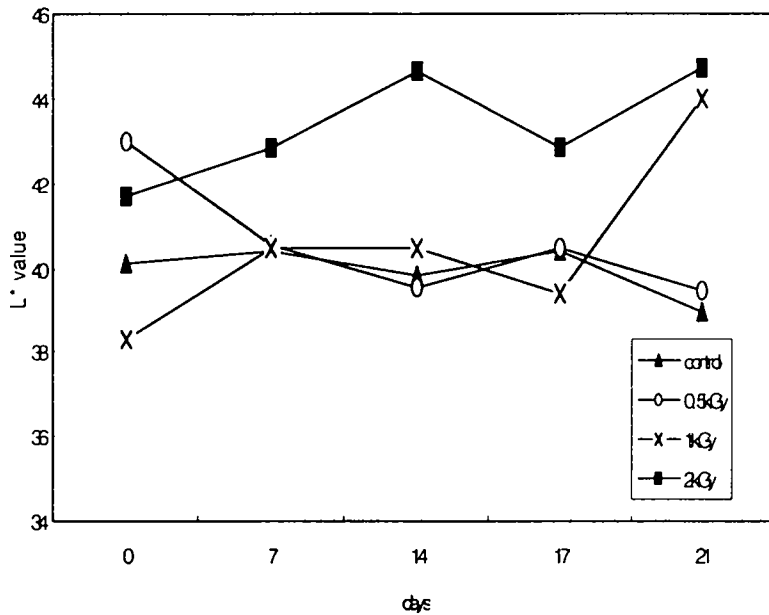


Figure 6. L^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2kGy irradiated beef loins

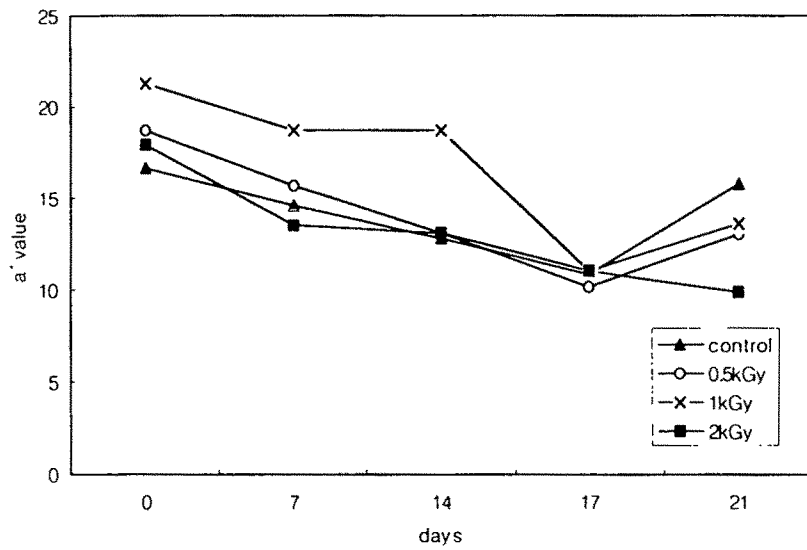


Figure 7. a^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated beef loins

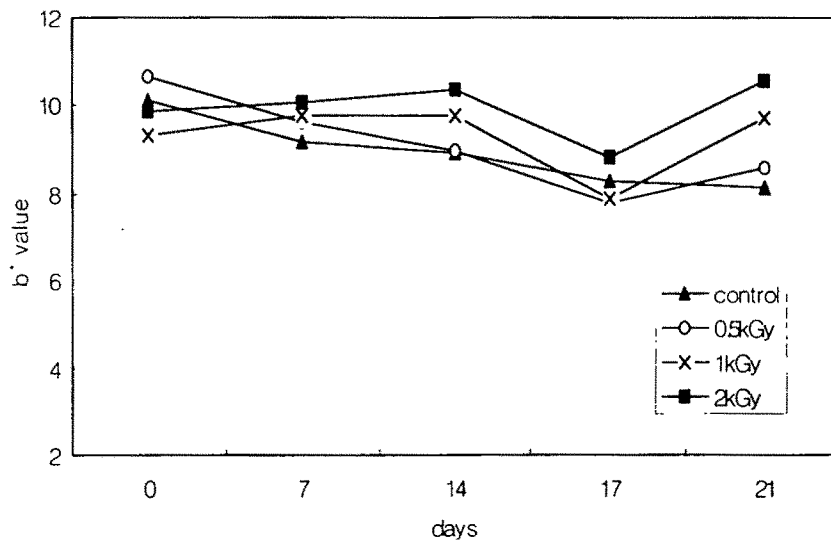


Figure 8. b^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated beef loins

일반적으로 신선육의 최종 pH는 대략 5.4정도로 알려져 있다. 감마선 조사 후 pH 변화는 Table 1에 나타나 있다. 대체로 첫주 동안에 pH는 감소하는 경향을 나타내고 있고, 그 이후로 점차 pH는 증가하는 경향을 나타내었다. 저장 21일째에는 감마선을 조사하지 않은 우육이 가장 높은 pH수준을 나타내었다. 일반적으로 저장중에 산패정도가 높아질수록 식육의 pH는 높아지는 경향이 있으며(Holley 등, 1994), 본 실험에서도 유사한 경향이 나타났다.

Table 1. Changes of pH values of beef loins irradiated with gamma-ray

Treatment	Days				
	1	7	14	17	21
Control	5.46±0.101	5.37±0.02	5.45±0.01	5.40±0.01	5.66±0.19
0.5kGy*	5.47±0.04	5.45±0.02	5.44±0.01	5.44±0.03	5.49±0.02
1kGy***	5.38±0.01	5.37±0.01	5.46±0.02	5.65±0.07	5.48±0.08
2kGy*	5.44±0.09	5.47±0.02	5.44±0.02	5.66±0.03	5.53±0.06

*: P <0.05, **:P <0.01, ***:P <0.001

3) 관능적 특성 변화

삼점검사방법은 1차년도 감마선 조사한 신선돈육의 경우와 같은 방법으로 실시하였다. 삼점검사 결과, 6가지 조합중에서 조리한 우육의 경우 0.5-2, 1-2 짝 사이에서, 신선 돈육 등심의 경우 0-1의 경우에 유의성 있는 결과를 얻었다. 이들 결과를 분석하여 보면, Table 2에서 보는 바와 같이 식별강도는 조사 수준간의 차이가 많이 날수록 높은 것으로 나타났다. 특히 신선우육에서는 짝간의 조사선량의 차이가 클수록 식별강도가 높았고 조리한 우육 등심을 이용하여 검사한 결과의 경우 무처리 우육 등

심과 0.5수준으로 감마선 조사시킨 우육 등심 사이에 쉽게 구분하였으며, 감마선량이 높아질수록 식별강도는 증가하는 것을 알 수 있다. 신선우육은 조리한 우육 등심에 비해 전체적으로 식별강도가 높았고 조사선량별로 차이가 분명히 나타난 것으로 보아 이것은 조리과정중에 감마선취에 영향을 미치는 풍미물질이 휘발되었기 때문인 것으로 생각되어 진다.

신선돈육을 이용한 척도묘사분석법(Descriptive analysis with scaling)에 의한 결과가 Table 3에 나타나 있다. 향기는 처리간의 차이가 거의 나타나지 않았고, 불패취는 감마선 조사선량중 0.5kGy와 2kGy수준에서 높은 경향을 나타냈다. 육색은 1kGy수준으로 조사된 시료가 가장 높았고, 가장 높이 선호하는 경향을 보이는 것으로 보아 결과적으로 불패취의 경우 감마선 조사를 하지 않은 시료와 크게 차이가 나지 않았고, 향기나 육색에서도 큰 차이가 없는 것으로 보아 외관적으로 감마선 조사된 시료는 소비자들에게 거부감을 주지 않을 것으로 예상된다. 심부온도 70℃가 될 때까지 외부온도 200℃로 가열한 후 실시한 척도묘사분석법의 결과는 Table 4에 요약되어 있다. 불패취의 경우 1kGy수준으로 조사된 시료와 감마선 조사되지 않은 시료의 경우 가장 높은 수준을 나타내었고 시료간에 유의적인 차이가 없었다. 기호성은 0.5kGy와 2kGy의 경우 가장 높은 추세를 보이는 것으로 보아 조리육의 경우 감마선 조사가 우육의 관능적인 품질에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 예상된다.

Table 2. Degree of difference and acceptability in various pairs.

	Pair	Degree of difference	Acceptability
Cooked beef loin	0 - 0.5	3	3 : 0
	0 - 1	2	2 : 4
	0 - 2	2.33	1 : 2
	0.5 - 1	1.83	1 : 5
	0.5 - 2	2.43 [*]	3 : 4
	1 - 2	1.86 [*]	5 : 2
Fresh beef loin	0 - 0.5	1.6	4 : 1
	0 - 1	2.2 ^{***}	6 : 4
	0 - 2	2.4	1 : 4
	0.5 - 1	1.33	2 : 4
	0.5 - 2	3.33	0 : 3
	1 - 2	2.75	1 : 3

Table 3. Descriptive analysis with scaling of fresh beef loins irradiated

Items		Aroma	Off-flavor	Color	Driploss	Acceptability
Dose						
Nonirradiated		6.00±2.15	4.36±2.46	6.64±1.69	6.36±2.46	6.45±2.11
Irradiated	0.5kGy	5.64±2.38	4.82±3.16	5.73±1.90	6.18±2.27	5.82±2.60
	1kGy	5.27±1.74	3.64±2.06	7.00±2.15	5.18±2.09	6.73±1.68
	2kGy	5.64±1.80	4.64±2.98	6.00±1.84	5.55±1.75	5.09±1.64

Table 4. Descriptive analysis with scaling of cooked beef loins after irradiation

Item		Aroma	Flavor	Off-flavor	Tenderness	Juiceness	Acceptability
Dose							
Nonirradiated		5.45±1.44	5.18±1.25	4.45±2.54	5.27±2.24	5.82±1.99	4.45±1.51
Irradiated	0.5kGy	6.00±1.10	6.45±2.02	2.55±2.11	6.82±1.47	5.82±2.18	6.00±2.05
	1kGy	5.64±1.63	6.09±1.51	5.00±1.67	5.82±1.72	5.73±2.15	4.91±1.81
	2kGy	5.00±2.14	6.09±1.45	3.73±1.95	5.45±2.34	6.18±1.60	5.91±1.76

a, b, c, d Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

* P < 0.05 ; ** P < 0.01

이상의 결과를 종합해보면 2kGy미만으로 조사할 경우에 감마선에 대한 소비자들의 인식을 새롭게 할 홍보를 충분히 한다면 위생적이고 저장기간이 더 긴 신선우육의 생산이 가능할 것으로 생각된다.

2. 전자선 조사를 이용하여 신선우육 살균시 적정 조사수준 확립

가. 연구내용 및 방법

1) 실험재료

실험재료는 시중에서 시판되는 우육의 등심부위를 이용하였으며, 등지방은 완전히 제거하였고, 일정한 크기(두께 10cm)로 절단하여 전자선 조사에 이용하였다.

2) 전자선 조사 및 저장

실험재료의 전자선 조사는 호기적 조건에서 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 삼성중공업(주)중앙연구소 내 전자선 가속기를 이용하여 실온에서 1 MeV의 에너지 수준으로 총 흡수선량이 0.5kGy, 1kGy, 2kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 전자선의 투과 깊이가 4mm이기 때문에 위면과 아래면을 각각 1회씩 조사하였다. 전자선 조사 처리된 시료는 비조사 대조시료와 함께 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 냉장상태로 저장하면서 실험에 이용하였다.

3) 생균수 계수

APHA(1985)의 Swab contact method를 수정하여 시료에서 미생물을 채취하였다. 면적이 10cm^2 인 주형판을 이용하였다. 호기적 증온성 균수는 위의 시료액 1ml을 Aerobic Count Petrifilm™(Microbiology Products 3M Health Care: AOAC, 1995)에 분주하여 37°C 에서 2일간 배양한 후 균락수를 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 1ml을 분주하여 37℃에서 2일간 배양한 후 계수하였다. 내냉성균은 증온성균수와 마찬가지로 Aerobic Count Petrifilm™(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 1ml을 분주하여 4±2℃에서 17일간 배양한 후 계수하였다.

4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)

시료의 저장중 지방산패정도를 조사하기 위하여 일주일 간격으로 Witte(1970)의 방법에 의해 TBA가를 측정하였다. 휘발성 염기태 질소(VBN)는 高坂(1975)의 방법에 의해서 측정하였다. 육색은 Chroma 미터(Minolta CR-210, Japan)를 이용하여 CIE L* a* b*값을 측정하였다. pH는 포터블 pH 미터(Cole-Parmer Instrument Company, 미국)를 이용하여 측정하였다.

5) 관능적 특성 변화

관능검사는 10~20명의 관능요원에 의해서 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)을 신선우육과 조리한 우육(심부온도 70℃)을 대상으로 실시하였다(김광욱 등, 1995). 삼점검사는 같은 두 시료와 다른 한 시료를 함께 주고 다른 것을 골라내는 방식으로 진행하여 전자선 조사취의 관능적 분리 수준을 알아보려 하였다. 척도묘사분석법은 신선육의 경우 색, 향기, 불쾌취, 기호성을, 조리육에서는 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성, 기호성을 조사하였다.

6) 통계분석

통계 분석을 위해 위의 실험을 3반복 수행하였으며, SAS(1995) 통계 프

로그그램을 이용하여 분산분석과 Duncan test를 수행하였다.

나. 연구결과 및 고찰

1) 미생물의 변화

전자선을 조사한 우육의 호기적 중온성균의 변화는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 전자선을 조사한 날의 미생물수준은 전자선을 조사한 우육동심의 경우나 전자선 조사를 하지 않은 우육의 경우 모두 10^2 CFU(colony forming unit)/cm²미만의 결과를 보였고 이중 전자선을 조사 하지 않은 시료의 경우 가장 높은 수준을 나타내었다. 저장기간동안 전자선 조사선량이 많아질수록 미생물의 감소정도는 크게 나타났으며, 2kGy 수준으로 조사한 경우에는 저장기간 17일까지 10^5 CFU(colony forming unit)/cm²미만의 수준을 유지하였고, 저장기간동안 가장 낮은 미생물수준을 보였다. 전자선 조사를 하지 않은 시료의 경우와 0.5kGy수준으로 조사된 시료는 저장13일 이후에 중온성균의 부패기준인 $\log_{10} 7.00 (10^7)$ CFU/cm²을 넘었다. Fig. 2는 젖산균의 변화정도를 나타낸 것으로써 젖산균에 의한 부패수준인 $\log_{10} 8.00(10^8)$ CFU/cm²에 도달하는 기간을 살펴보면 저장기간 17일이 지나도 전자선을 조사한 경우나 조사하지 않은 경우 모두 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 저장기간동안 10일까지 전자선 조사를 하지 않은 시료가 가장 높은 수준이었고, 10일 이후에는 0.5kGy수준의 경우가 가장 높은 수준을 나타내었다. Fig. 3에서와 같이 내냉성균에 의한 부패수준은 일반적으로 $\log_{10} 7.00 (10^7)$ CFU/cm²로 알려져 있으며(Ayres, 1960; Hanna 등, 1979), 본 연구 결과에 의하면 저장기간 10일 이전까지는 모든 시료가 부패수준을 넘지 않았지만, 그 이후에는 전자선 조사를 하지 않은 시료의 경우 부패수준에 도달하였으며, 0.5kGy를 조사한 시료의 경우에는 12일이 지나면서 부패수준에 도달하였다. 1kGy와 2kGy의 경우에는 대략 저장기간 3주정도가 지나야 부패수준에 도달할 것으로 예상이 되어진다.

즉 0.5kGy이상으로 조사한 경우에는 호기성 중온성균수, 젖산균수, 내냉성균수를 전자선 조사를 하지 않은 경우보다 일반적으로 낮게 유지할 수 있어서 저장기간을 증가시킬 수 있다.

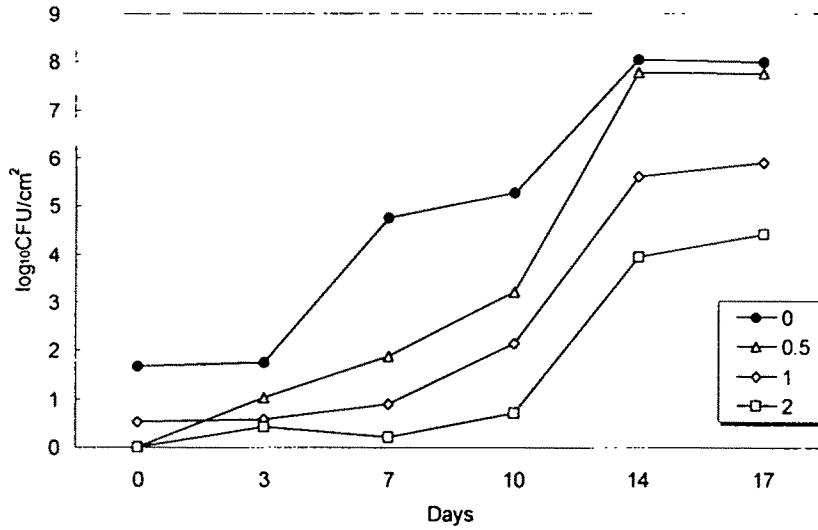


Figure 1. Total aerobic bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated beef loins during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

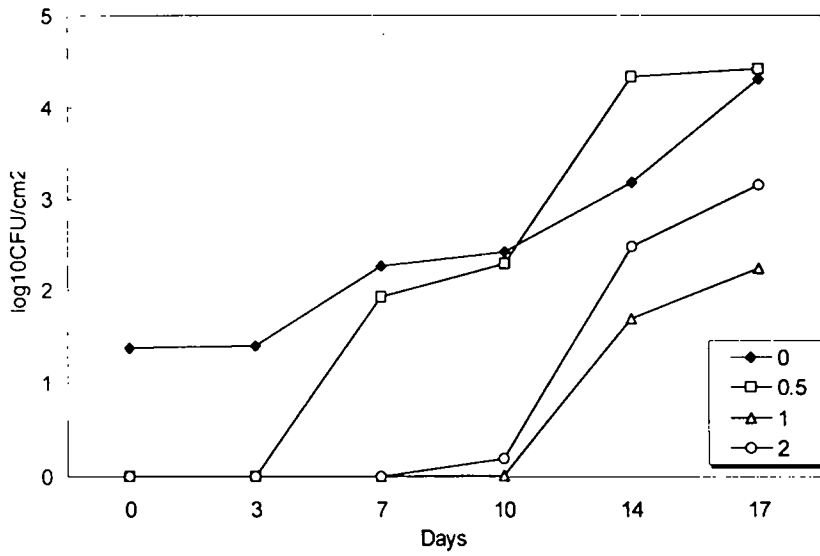


Figure 2. Total lactic acid bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated beef loins during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$.

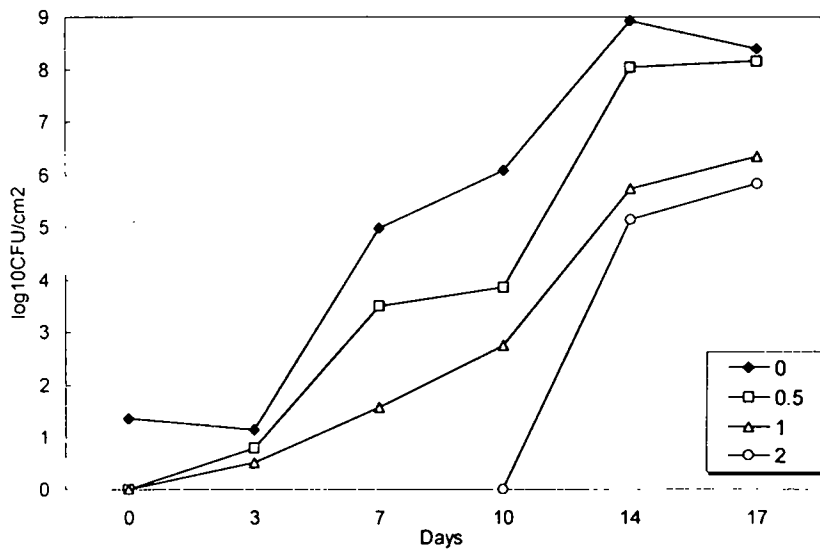


Figure 3. Total psychrotrophic bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated beef loins during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$.

2) 이화학적인 특징

가) 지방산화(TBA)

Fig. 4는 지방산화정도를 측정하기 위한 TBA값을 나타내었다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 저장기간이 증가함에 따라 증가하는 추세를 보였지만 변화 곡선의 굴곡이 심한 것을 볼수 있다. 전반적으로 조사선량이 높은 2kGy와 1kGy가 높은 수준의 TBA 값을 나타내었다.

본 실험에서는 비교적 1차년도 전자선 조사된 돈육을 이용한 실험에서와 비슷한 추세로 저수준의 전자선 조사는 지방산화에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

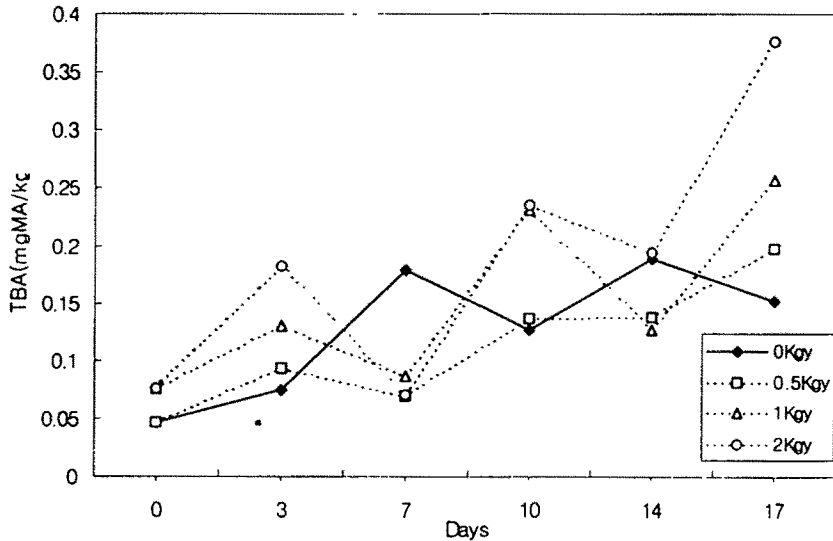


Figure 4. Change of TBA values of nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated beef loins during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

나) VBN변화

Fig. 5는 전자선 조사선량에 따른 VBN(volatile basic nitrogen)value

의 변화를 나타내는 결과로서 전자선을 조사한 것과 조사하지 않은 것 모두 저장기간이 길어 질수록 VBN value는 증가하는 것을 알 수 있다. 저장기간 10일까지는 모든 시료가 30mg%미만으로 비슷한 수준을 나타내었고, 감마선을 조사하지 않은 우육등심의 경우는 10일 이후부터 감마선 조사된 우육의 경우는 14일이후부터 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 모든 시료가 $P < 0.001$ 수준에서 유의성을 나타내었다. 野崎 등(1992)에 의하면 휘발성 염기질소는 세균의 증식 정도와 밀접한 관계가 있어서 세균수가 증가하여 관능적으로 초기부패가 느껴질 때까지는 그 증가폭이 적고 그 이후에는 급속히 변화된다고 하였다.

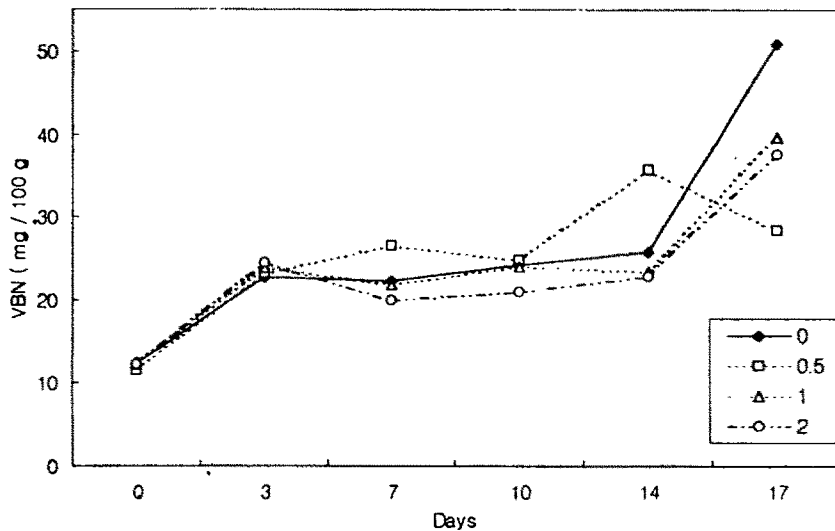


Figure 5. Change of VBN values of nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated beef loins during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

다) pH변화

일반적으로 신선육의 최종 pH는 대략 5.4정도로 알려져 있다. 전자선 조사후 pH변화는 Fig. 6에 나타나 있다. 저장기간 동안 전자선 조사를 하지 않은 우육의 경우 가장 높은 수준을 나타내었고, 1kGy와 2kGy수준의 경우 큰 변화없이 일정한 수준을 나타내었다. 일반적으로 저장중에 산패

정도가 높아질수록 식육의 pH는 높아지는 경향이 있으며 본 실험에서도 유사한 경향이 나타났고, 모든 시료가 $P < 0.001$ 수준에서 유의적인 차이를 나타내었다.

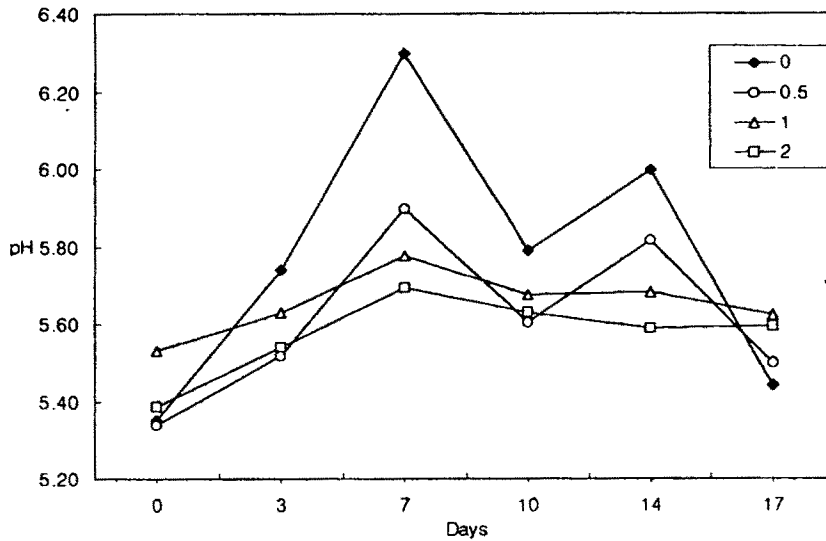


Figure 6. Change of pH values of nonirradiated and 0.5, 1 and 2kGy irradiated beef loins during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

라) 육색변화

Fig. 7은 백색도를 나타내는 지표인 L^* value의 저장 중 변화를 나타낸 것이다. 전자선 조사를 한 우육의 경우 전반적으로 큰 변화는 없었지만 전자선 조사를 하지 않은 우육과 0.5kGy 경우 저장 10일 이후에 감소하는 경향이 나타나고 있다. a^* value는 적색도를 나타내는 지수로서 Fig. 8에 나타난 결과를 살펴보면 저장기간중에 높은 전자선량으로 조사한 것이 하지 않은 시료에 비해 높은 수치를 나타내었다. 저장기간이 진행됨에 따라서 적색도는 큰 변화없이 일정한 경향을 나타내고 있다. Fig. 9에 나타난 b^* 는 황색도를 나타내는 지수로서 a^* value와 함께 식육색을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 저장기간중에 변화를 살펴보면 무처리 우육의

경우에 1주일동안 점진적으로 증가하는 경향을 나타내다가 14일 까지 급진적으로 감소하고 다시 증가하는 경향을 보였다. 전자선 조사된 시료의 경우 모두 큰 변화없이 일정한 수준을 나타 내었다. 육색의 변화는 미생물의 수준에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있는데 미생물의 수준이 증가할수록 갈색도도 증가하게되고 이에 비해 백색도와 적색도가 감소하게 된다. 본 실험에서 L^* value, a^* value, b^* value은 전자선을 조사한 우육의 경우 백색도와 적색도가 감소하는 경향을 보이는 반면 갈색도가 증가하는 것을 볼수 있었고, 이에 비해 전자선 조사된 우육의 경우는 큰 변화없이 일정한 수준을 보였다. 이는 미생물 수준이 많은 영향을 미치는 것으로 생각된다.

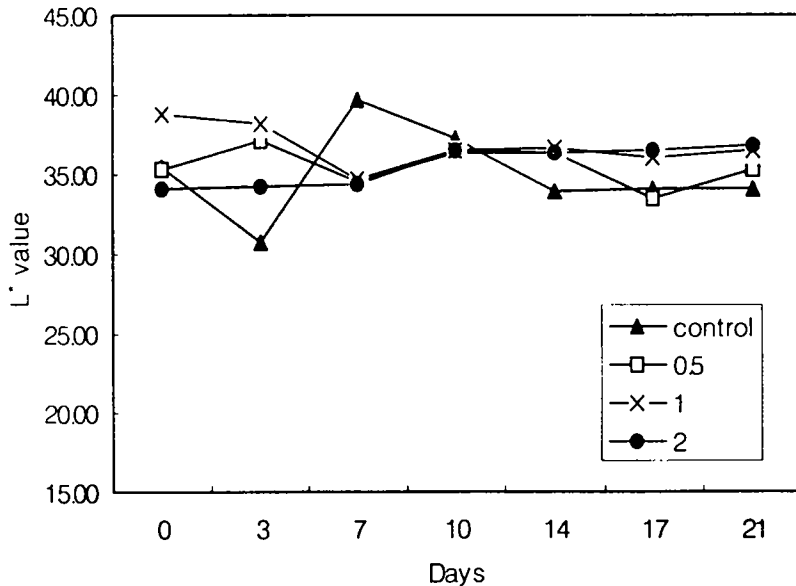


Figure 7. L^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2kGy irradiated beef loins

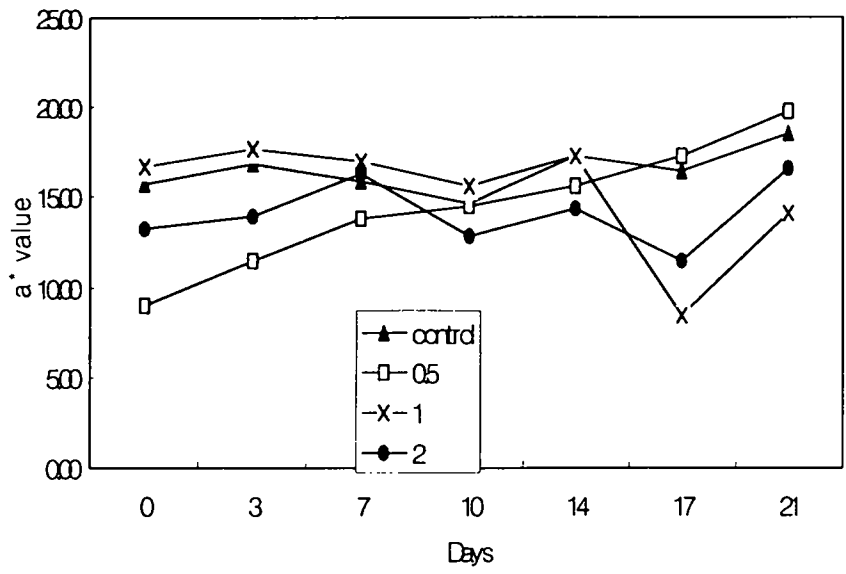


Figure 8. a* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated beef loins

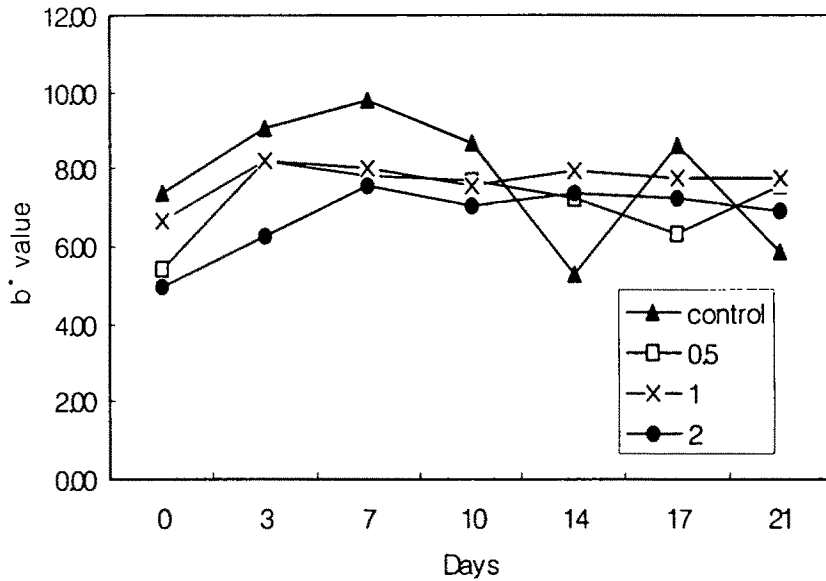


Figure 9. b* value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated beef loins

3) 관능적 특성 변화

Table 1에서 나타낸 삼점검사는 감마선 조사에 의한 우육의 특성 변화에서와 같은 방법으로 실시하였고, 그 결과 6가지 조합중에서 조리한 우육 등심의 경우 0.5-2 짝 사이에서, 신선 우육 등심의 경우 0-2, 0.5-2의 경우에 유의성 있는 결과를 얻었다. 이들 결과를 분석하여 보면, 신선육의 경우 0-2, 0.5-2와 같이 식별강도는 전자선 조사수준간의 차이가 많이 날수록 높은 것으로 나타났다. 조리한 우육의 경우는 0-2에서 높은 수준의 식별강도를 나타내었고 그 외에는 다소 큰 차이는 없었다. 이는 조리과정중에 전자선 취에 영향을 미치는 풍미물질이 휘발되었기 때문인 것으로 생각되어 진다.

Table 1. Degree of difference and acceptability in various pairs.

	Pair	Degree of difference	Acceptability
Cooked beef loin	0 - 0.5	2	2 : 1
	0 - 1	3	3 : 4
	0 - 2	3.23	2 : 4
	0.5 - 1	1.92	2 : 5
	0.5 - 2	1.98*	4 : 2
	1 - 2	1.83	5 : 2
Fresh beef loin	0 - 0.5	1.83	3 : 1
	0 - 1	2.33	7 : 3
	0 - 2	2.51*	2 : 5
	0.5 - 1	1.46	1 : 3
	0.5 - 2	3.34*	0 : 3
	1 - 2	2.73	1 : 2

신선우육을 이용한 척도묘사분석법(Descriptive analysis with scaling)에 의한 결과가 Table 2에 나타나 있다. 향기는 처리간의 차이가 거의 나타나지 않았고, 불쾌취는 전자선 조사선량에 따라서 증가하는 것으로 나타났다. 기호도는 전자선 처리를 하지 않은 경우로 가장 선호하였고, 그 다음으로는 0.5kGy 수준으로 조사한 시료를 선호하는 것으로 나타났다. 심부온도 70℃가 될 때까지 외부온도 200℃로 가열한 후 척도묘사분석법의 결과는 Table 3에 요약되어있다. 조리된 우육의 향기는 신선육에서와 같이 차이가 다소 크게 나지 않았고, 불쾌취의 경우 전자선 조사를 한 우육과 하지 않은 우육간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 신선육에서와는 달리 전자선을 조사한 우육중 0.5kGy와 2kGy의 경우에 가장 높은 선호도를 나타내었다.

Table 2. Descriptive analysis with scaling of fresh beef loins irradiated with electron beam.

Dose \ Items		Items	Aroma	Off-flavor	Color	Driploss	Acceptability
Nonirradiated			6.21±1.15	3.89±2.16	6.56±1.69	6.13±1.42	6.94±2.01
Irradiated	0.5kGy		5.43±1.83	4.35±3.21	5.61±1.90	6.15±1.97	5.76±2.21
	1kGy		5.29±1.56	4.43±2.01	6.97±2.15	5.36±1.89	6.82±1.72
	2kGy		5.71±1.43	4.86±2.63	6.21±1.84	5.54±1.81	5.76±1.89

Table 3. Descriptive analysis with scaling of cooked beef loins after irradiation with electron beam.

Dose \ Item		Item	Aroma	Flavor	Off-flavor	Tenderness	Juiciness	Acceptability
Nonirradiated			5.37±1.44	5.13±1.13	4.01±2.54	5.05±2.28	5.74±1.82	4.54±1.45
Irradiated	0.5kGy		6.13±1.10	6.57±2.16	3.46±2.11	6.78±1.37	5.91±1.89	5.76±1.92
	1kGy		5.58±1.57	5.79±1.37	4.79±1.67	5.91±1.76	5.81±1.91	4.89±1.79
	2kGy		5.00±2.01	5.91±1.64	3.68±1.95	5.38±2.14	6.15±1.42	5.76±1.46

이상의 결과를 종합해보면 2kGy로 조사하게 되면 초기 미생물 수준이 상당히 저하되어 저장기간이 증가할 수 있고, 육색의 경우에도 저장기간 동안 우수한 수준을 나타내었다. 하지만 관능검사 결과 신선육상태에서 전자선위를 쉽게 인지하기 때문에 기호성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 소비자들이 인지할수 있는 단계는 신선육 상태이므로 2kGy는 거부감을 줄 수 있으므로 1kGy~1.5kGy 수준으로 조사할 경우 관능적인 손실없이 저장기간의 증가효과를 나타낼 수 있다.

제 3 절 저 수준 전자선 살균을 이용하여 신선 계육 살균시 적정조사수준확립

1. 감마선 조사를 이용하여 신선계육 살균시 적정 조사수준 확립

가. 연구내용 및 방법

1) 실험재료

실험재료는 시중에서 시판되는 계육의 등심부위를 이용하였으며, 등지방은 완전히 제거하였고, 일정한 크기(두께 10cm)로 절단하여 감마선 조사에 이용하였다.

2) 감마선 조사 및 저장

실험재료의 감마선 조사는 호기적 조건에서 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 한국원자력연구소 내 선원 100,000 Ci의 ^{60}Co 감마선 조사시설을 이용하여 실온에서 시간당 1kGy의 선량률로서 0.5kGy, 1kGy, 2kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 총 흡수선량의 오차는 $\pm 5\%$ 내외였으며 감마선 조사처리된 시료는 비조사 대조시료와 함께 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 냉장상태로 저장하면서 실험에 이용하였다.

3) 생균수 계수

APHA(1985)의 Swab contact method를 수정하여 시료에서 미생물을 채취하였다. 면적이 10cm^2 인 주형판을 이용하였다. 호기적 증온성 균수는 위의 시료액 1ml을 Aerobic Count PetrifilmTM(Microbiology Products 3M Health Care; AOAC, 1995)에 분주하여 37°C 에서 2일간 배양한 후 균락수를 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 1ml을 분주하여 37℃에서 2일간 배양한 후 계수하였다. 내냉성균은 중온성균수와 마찬가지로 Aerobic Count Petrifilm™(Microbiology Products 3M Health Care: AOAC, 1995)에 1ml을 분주하여 4±2℃에서 10일간 배양한 후 계수하였다.

4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)

1, 2차년도에서 같은 방법으로 시료의 저장중 지방산패정도를 조사하기 위하여 일주일 간격으로 Witte(1970)의 방법에 의해 TBA가를 측정하였고, 휘발성 염기태 질소(VBN)는 高坂(1975)의 방법에 의해서 측정하였다. 저장기간동안 육색의 변화를 분석하기 위하여 육색은 Chroma 미터(Minolta CR-210, Japan)를 이용하여 CIE L* a* b*값을 측정하였다. pH는 포터블 pH 미터(Cole-Parmer Instrument Company, 미국)를 이용하여 측정하였다.

5) 관능적 특성 변화

관능검사는 10~20명의 관능요원에 의해서 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)을 신선계육과 조리한 계육(심부온도 70℃)을 대상으로 실시하였다(김광욱 등, 1995). 삼점검사는 같은 두 시료와 다른 한 시료를 함께 주고 다른 것을 골라내는 방식으로 진행하여 감마선 조사취의 관능적 분리 수준을 알아보려 하였다. 척도묘사분석법은 신선육의 경우 색, 향기, 불쾌취, 기호성을, 조리육에서는 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성, 기호성을 조사하였다.

6) 통계분석

통계 분석을 위해 위의 실험을 3반복 수행하였으며, SAS(1995) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 Duncan test를 수행하였다.

나. 연구결과 및 고찰

1) 미생물 변화

Figure 1은 저장기간에 따른 총균수의 변화를 나타내었다. 초기 총균수는 대조구가 1×10^4 CFU/cm²이고, 2kGy로 처리한 시료는 1×10^2 CFU/cm²으로 약간의 차이를 보였으며, 저장기간 3일째에는 대조구가 4.97×10^5 CFU/cm²로 미생물의 수준이 급격히 증가하였고, 이에비해 0.5kGy, 1kGy, 2kGy로 처리한 시료는 각각 3.07×10^3 CFU/cm², 3.0×10^2 CFU/cm², 6.67×10^1 CFU/cm²으로 대조구와 많은 차이를 보였다. 저장기간 10일째는 대조구의 경우 1×10^7 CFU/cm²을 초과하였고, 0.5kGy는 1×10^4 CFU/cm²을 초과함에 비해 1kGy와 2kGy는 초과하지 않았다. 이러한 결과는 감마선 수준에 따라서 미생물 성장억제효과에 많은 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

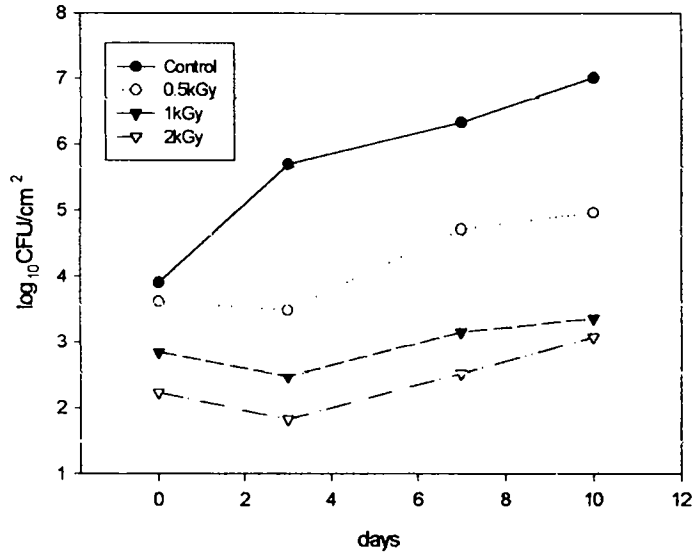


Figure 1. Changes of total plate counts of chicken meat irradiated with gamma-ray.

Figure 2는 냉생성 미생물의 저장 중 변화를 나타낸 것이다. 초기 냉생성 미생물의 수준은 대조구가 $2.57 \times 10^4 \text{CFU/cm}^2$ 으로 가장 높았고, 2kGy로 처리한 시료가 $4.97 \times 10^2 \text{CFU/cm}^2$ 으로 미생물의 수준이 가장 낮았다. 따라서 초기에 감마선을 처리하게 되면 초기 미생물수에서 약 10^2CFU/cm^2 가량 차이가 나게 되어 저장 기간에 따른 부패에 많은 영향을 미친다. 이러한 초기 미생물 수준으로 인해 10일 경과 후에는 대조구의 경우 $1.17 \times 10^7 \text{CFU/cm}^2$ 으로 나타났으며, 2kGy를 조사한 시료의 경우에는 $2.57 \times 10^4 \text{CFU/cm}^2$ 수준에 머무는 것으로 나타났다.

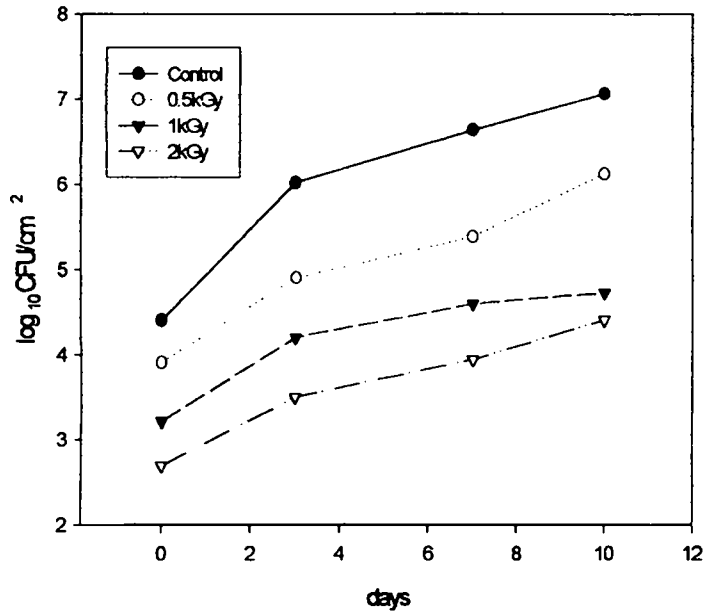


Figure 2. Changes of psychrotrophs of chicken meat irradiated with gamma-ray.

Figure 3은 감마선 수준별 젖산균의 저장 기간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 초기에 대조구는 6.40×10^1 CFU/cm²이었고, 2kGy를 조사한 경우에는 전혀 검출되지 않았다. 다른 미생물과 마찬가지로 젖산균 역시 감마선 조사에 민감한 것으로 평가되었다.

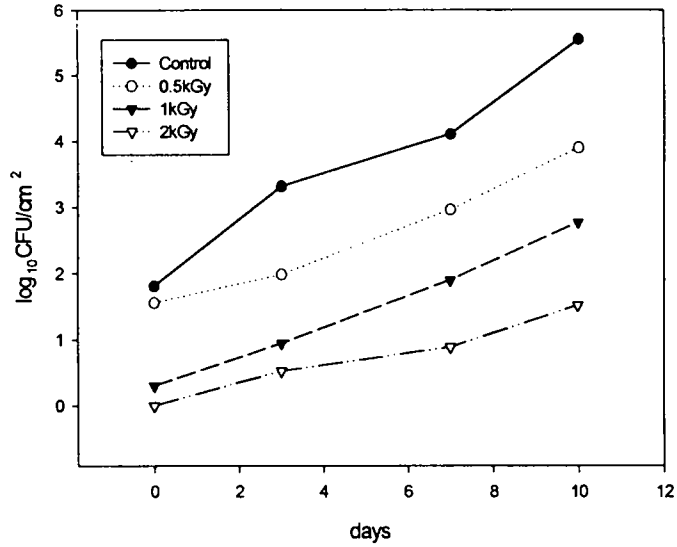


Figure 3. Changes of lactic acid bacteria of chicken meat irradiated with gamma-ray.

2) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)

Table 1은 저장 중 TBA값을 나타내고 있다. 가슴육의 경우에는 지방이 매우 적게 포함되어 있어 저장 기간에 따라서 TBA값이 큰 차이를 보이지는 않고 있다. 또한, 감마선 조사한 효과 역시 지방 함량이 적어 큰 차이를 보이지는 않았다.

Table 1. Changes of TBA absorbance of chicken breasts and thighs irradiated with γ -rays during storage.

		1	3	7	10	Pr>F
Breast	Control	^a 0.061±0.003 ^c	^a 0.044±0.000 ^d	^b 0.079±0.002 ^a	^m 0.072±0.002 ^b	0.0001
	0.5kGy	^m 0.070±0.000 ^b	^b 0.045±0.000 ^c	^b 0.055±0.002 ^a	ⁿ 0.069±0.003 ^d	0.0001
	1kGy	^l 0.073±0.002 ^a	^b 0.062±0.001 ^c	^m 0.072±0.000 ^a	ⁿ 0.065±0.000 ^b	0.0001
	2kGy	^b 0.077±0.001 ^a	^m 0.055±0.002 ^c	^m 0.065±0.001 ^b	^b 0.076±0.000 ^a	0.0001
	Pr>F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0006	
Thigh	Control	^a 0.052±0.002 ^c	^b 0.128±0.002 ^b	^b 0.149±0.001 ^a	^m 0.131±0.013 ^b	0.0001
	0.5kGy	^m 0.065±0.002 ^c	^b 0.047±0.001 ^d	^b 0.083±0.001 ^b	ⁿ 0.231±0.011 ^a	0.0001
	1kGy	^m 0.075±0.001 ^c	^b 0.062±0.001 ^d	^m 0.110±0.003 ^b	ⁿ 0.126±0.009 ^a	0.0001
	2kGy	^b 0.085±0.001 ^c	^m 0.113±0.007 ^b	^m 0.110±0.002 ^b	^b 0.304±0.024 ^a	0.0001
	Pr>F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	

^{a, b, c, d} Means±SD with different superscripts in the same row differ significantly.

^{l, m, n, o} Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

다리육의 경우에는 가슴육에 비해 많은 지방이 있어서 TBA값이 저장 기간에 따라서 유의적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 감마선 조사 선량에 따라서 TBA도 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 2는 저장 기간에 따른 휘발성 염기태 질소(VBN)의 변화를 나타낸 표이다. VBN은 조사 선량에 따라서 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 저장 기간에 따라서도 증가하고 있는데 이는 저장 기간에 따라서 미생물의 증가되며, 이러한 미생물들에 의해서 식육 단백질의 분해로 질소화합물이 더 많이 생성되었기 때문이다.

Table 2. VBN changes of chicken breasts and thighs irradiated with γ -rays during storage.

		1	3	7	10	Pr>F
Breast	Control	^a 6.04±0.15 ^d	^a 10.52±0.34 ^c	^l 13.68±1.41 ^b	^l 17.89±1.18 ^a	0.0001
	0.5kGy	^a 8.65±0.50 ^c	^m 13.28±0.26 ^b	^{lm} 12.51±0.70 ^b	^m 15.82±0.29 ^a	0.0001
	1kGy	^m 12.66±0.19	^m 13.15±0.94	^m 11.74±0.58	ⁿ 13.27±0.54	0.0592
	2kGy	^l 14.67±0.46 ^a	^l 14.62±0.41 ^a	ⁿ 11.41±0.12 ^c	ⁿ 13.19±1.19 ^b	0.0010
	Pr>F	0.0001	0.0001	0.0435	0.0005	
Thigh	Control	^a 8.31±0.70 ^d	^a 10.33±0.14 ^c	^l 13.39±0.39 ^b	^l 19.58±0.34 ^a	0.0001
	0.5kGy	^m 10.28±1.16 ^c	^m 12.56±0.13 ^b	^m 11.48±0.75 ^{bc}	^m 17.63±0.59 ^a	0.0001
	1kGy	^m 9.19±0.00 ^c	ⁿ 11.50±0.12 ^b	^m 11.01±0.81 ^b	^m 16.78±0.62 ^a	0.0001
	2kGy	^l 13.91±0.86 ^b	^l 14.53±0.27 ^b	^l 13.50±0.34 ^b	ⁿ 16.36±0.64 ^a	0.0014
	Pr>F	0.0001	0.0001	0.0018	0.0005	

a, b, c, d Means±SD with different superscripts in the same row differ significantly.

l, m, n, o Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

감마선(Gamma rays) 조사 처리된 계육의 가슴육과 다리육의 저장 중 pH 는 가슴육의 경우 5.46~6.02수준으로 거의 정상 수준을 보였으며 저장 기간에 따라서 그리고 조사 선량에 따라서 유의성은 나타내고 있다. 하지만 이러한 유의 수준이 나타나는 이유는 실험 수행 시 모든 시료를 혼합한 후 패티를 만들어 수행한 것이 아니기 때문에 매 실험 수행 시에 시료의 차이에 의한 것이라고 사료된다. 다리육의 경우에는 가슴육에 비해 6.17~6.68로 상당히 높은 수준의 pH를 보이고 있다.

Table 3. pH changes of chicken breasts and thighs irradiated with γ -rays during storage.

		1	3	7	10	Pr>F
Breast	Control	^a 5.64±0.01 ^{bc}	^a 5.53±0.01 ^c	^a 5.97±0.05 ^a	5.85±0.26 ^b	0.0132
	0.5kGy	^b 5.90±0.01 ^b	^b 5.77±0.01 ^c	^b 6.02±0.02 ^a	5.74±0.02 ^d	0.0001
	1kGy	^a 5.88±0.01 ^a	^a 5.52±0.01 ^c	^a 5.70±0.01 ^b	5.54±0.03 ^c	0.0001
	2kGy	^{bc} 5.59±0.01 ^{bc}	^c 5.46±0.01 ^c	^b 5.69±0.02 ^b	5.95±0.22 ^a	0.0041
	Pr>F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0857	
Thigh	Control	^b 6.43±0.04 ^b	^m 6.31±0.03 ^c	^l 6.64±0.09 ^a	^m 6.63±0.07 ^a	0.0003
	0.5kGy	^b 6.39±0.02 ^b	^f 6.32±0.00 ^f	^b 6.36±0.01 ^b	ⁿ 6.57±0.02 ^a	0.0001
	1kGy	^c 6.65±0.01 ^c	^d 6.27±0.02 ^d	^b 6.55±0.02 ^b	ⁿ 6.32±0.04 ^a	0.0001
	2kGy	^b 6.59±0.03 ^b	^d 6.17±0.04 ^d	^c 6.47±0.03 ^c	^o 6.68±0.06 ^a	0.0001
	Pr>F	0.0001	0.0003	0.0005	0.0001	

^{a, b, c, d} Means±SD with different superscripts in the same row differ significantly.

^{l, m, n, o} Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

3) 관능적 특성 변화

가) 삼점검사

신선육의 삼점검사 결과를 Table 4에 나타내었다. 가슴육에서는 0.5kGy와 2kGy사이를 구분하는데 식별강도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이때에 주로 영향을 미친 관능적인 요인은 냄새가 가장 영향을 많이 미쳤으며, 육색과 육즙삼출도 영향을 미친 것으로 나타났다. 전체적으로 각 짝간의 차이를 구분하는 데에는 냄새와 육색이 영향을 많이 미친 것으로 평가되어 감마선 조사후에 조사취의 발생과 함께 육색의 변화도 소비자에게 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만, 그 차이가 조사선량에 따라서 증가하지는 않았다. 다리육의 경우에는 가슴육의 경우에서보다 식별강도가 높게 나타나고 있는데 이러한 이유는 가슴육보다는 다리육이 감마선 조사에 의한 변화가 더 많아 조사취도 많이 발생하고 변색도 심하기 때문인 것으로 사료된다.

Table 4. Triangle test of raw chicken breasts and thighs irradiated with γ -rays

Portions	Pairs	Degree of Difference ¹⁾	Acceptability
Breast	Control : 0.5kGy	1.50	2:4
	Control : 1kGy	1.17	5:1
	Control : 2kGy	1.17	3:3
	0.5kGy : 1kGy	1.25*	3:5
	0.5kGy : 2kGy	1.78*	6:3
	1kGy : 2kGy	1.00	2:3
Thigh	Control : 0.5kGy	1.33	2:1
	Control : 1kGy	2.36*	6:5
	Control : 2kGy	2.20*	5:5
	0.5kGy : 1kGy	1.25*	6:2
	0.5kGy : 2kGy	1.00	1:1
	1kGy : 2kGy	2.25*	4:4

* $P < 0.05$

¹⁾ 1 : slightly, 2 : moderate, 3 : much, 4 : extreme

조리육을 이용한 삼점검사 결과는 Table 5에 나타내었다. 가슴육의 경우에 1kGy와 2kGy의 짝과 대조구와 2kGy를 조사한 시료와 0.5kGy와 2kGy를 조사한 시료의 식별강도가 높게 평가되었다. 두 시료간의 차이를 식별하는데 주로 영향을 미친 관능적 요인은 주로 연도와 다즙성이었다. 이외에도 냄새와 풍미, 육색이 영향을 미쳤으나 많지는 않았다.

다리육의 경우에는 모든 시료에서 식별강도가 2를 넘었다. 하지만 정답자의 수가 많지 않아 유의성은 나타나지 않았다. 따라서 이러한 결과는 특별하게 감마선 조사에 민감한 사람에 의한 차이 식별이라고 생각되며, 대부분의 관능검사자는 구분해 내지 못했다. 따라서 감마선 조사 처리된 계육은 신선육 상태에서는 식별가능하였으나 조리하게 되면 대부분의 사람들은 구분하지 못하는 것으로 나타났다.

Table 5. Triangle test of cooked chicken breasts and thighs irradiated with γ -rays

Portions	Pairs	Degree of Difference ¹⁾	Acceptability
Breast	Control : 0.5kGy	2.00	2:3
	Control : 1kGy	1.86	3:4
	Control : 2kGy	1.83	2:4
	0.5kGy : 1kGy	1.33	2:1
	0.5kGy : 2kGy	2.00	2:4
	1kGy : 2kGy	2.75	1:3
Thigh	Control : 0.5kGy	2.00	1:4
	Control : 1kGy	2.00	2:2
	Control : 2kGy	2.50	1:1
	0.5kGy : 1kGy	2.00	2:3
	0.5kGy : 2kGy	2.43	4:3
	1kGy : 2kGy	2.17	6:0

¹⁾ 1 : slightly, 2 : moderate, 3 : much, 4 : extreme

나) 척도묘사분석

신선육의 척도묘사 분석 결과가 Table 6에 나타나 있다. 가슴육의 경우, 냄새(aroma) 항목에서는 대조구와 2kGy를 조사한 시료가 가장 높게 나타났고, 육색(color)은 2kGy를 조사한 시료가 가장 낮았다. 육즙삼출(purge)은 0.5kGy를 조사한 시료가 가장 높았으며, 불쾌취(off-flavor)는 대조구를 제외한 나머지 시료가 높은 수준이었다. 전체적인 기호성(acceptability)은 대조구가 가장 좋았으며 조사 선량에 따라서 낮게 평가되었다. 다리육의 경우에는 냄새(aroma)는 대조구가 가장 우수하였으며, 육색(color)은 0.5kGy와 2kGy를 조사한 시료가 가장 낮았다. 육즙삼출(purge)은 대조구와 2kGy를 조사한 시료가 가장 높았다. 불쾌취(off-flavor)는 0.5kGy를 조사한 시료가 가장 높게 평가되었다. 전체적인 기호성은 0.5kGy를 조사한 시료가 가장 좋지 않았다.

Table 6. Descriptive analysis with scaling of raw chicken breasts and thighs irradiated with γ -rays.

		Aroma	Color	Purge	Off-flavor	Acceptability
Breast	Control	3.83±1.85	3.00±1.54	3.42±1.88	2.83±1.99	4.92±1.88
	0.5kGy	3.37±1.87	3.33±1.44	3.92±2.68	3.25±1.71	4.83±1.53
	1kGy	3.67±1.92	3.00±1.35	4.25±2.53	3.08±1.51	4.33±1.44
	2kGy	4.08±1.56	2.83±1.40	3.33±1.83	3.00±1.91	4.25±1.91
	Pr>F	0.9341	0.8559	0.7261	0.9521	0.6983
Thigh	Control	4.83±1.47	6.08±1.00 ^b	4.08±2.31	2.92±1.08	4.67±2.15
	0.5kGy	4.00±2.09	5.17±1.47 ^b	3.33±2.02	3.25±2.26	4.50±1.78
	1kGy	3.83±1.85	7.33±1.07 ^a	4.00±2.04	2.16±0.94	5.67±1.50
	2kGy	4.08±1.83	5.33±1.15 ^b	4.08±2.19	3.08±1.83	4.83±1.47
	Pr>F	0.5522	0.0002	0.7936	0.3831	0.3766

^{a, b} Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

조리육의 척도묘사분석 결과는 Table 7에 나타내었다. 가슴육의 경우 냄새(aroma)와 풍미(flavor)는 0.5kGy가 가장 좋은 것으로 평가되었고, 불쾌취(off-flavor)는 2kGy를 조사한 시료가 가장 높았다. 육색(color)은 0.5kGy를 조사한 시료가 가장 좋았으며, 다즙성(juiciness)은 1kGy를 조사한 시료가 가장 우수한 것으로 나타났다. 연도(tenderness)는 2kGy를 조사한 것이 우수하였으며, 전체적인 기호성(acceptability)은 0.5kGy를 조사한 시료가 좋았고 2kGy를 조사한 시료가 좋지 못하였다. 이러한 결과는 감마선 조사와는 상관없이 조리된 상태나 초기 시료의 차이에 의한 것이 더 크게 작용한다는 것을 나타내는 결과이다. 다리육의 경우, 냄새(aroma)는 대조구가 우수하였고, 풍미(flavor)도 대조구가 가장 높게 나타났다. 불쾌취(off-flavor)는 1kGy를 조사한 시료가 가장 우수한 것으로 나타났고, 육색(color)은 2kGy를 조사한 시료가 가장 좋았다. 다즙성(juiciness)은 0.5kGy를 조사한 시료가, 연도(tenderness)는 대조구가 우수하였다. 전체적인 기호성은 대조구가 가장 좋은 것으로 평가되었고 나머지는 조사선량에 따라서 순위가 나타났다.

Table 7. Descriptive analysis with scaling of cooked chicken breasts and thighs irradiated with γ -rays.

		Aroma	Flavor	Off-flavor	Color	Juiciness	Tenderness	Acceptability
Breast	Control	3.91 ± 1.81	4.36 ± 2.01	2.27 ± 1.19	3.18 ± 1.83	3.91 ± 2.42	5.64 ± 1.50	5.18 ± 2.56
	0.5kGy	4.72 ± 1.68	5.55 ± 1.37	2.64 ± 1.36	3.36 ± 2.01	4.45 ± 2.16	5.64 ± 2.34	5.82 ± 2.23
	1kGy	4.45 ± 1.75	4.64 ± 1.50	2.18 ± 1.33	3.18 ± 1.99	5.18 ± 1.66	5.18 ± 1.72	5.45 ± 1.86
	2kGy	4.00 ± 1.67	4.18 ± 1.33	2.91 ± 1.92	2.82 ± 1.78	5.00 ± 2.28	6.18 ± 1.60	4.54 ± 2.07
	Pr>F	0.6535	0.1997	0.6384	0.9237	0.5093	0.6469	0.5822
Thigh	Control	4.64 ± 1.80	5.55 ± 1.37	3.27 ± 1.19	5.27 ± 1.42	5.46 ± 1.63	6.45 ± 1.75	6.72 ± 1.95
	0.5kGy	4.45 ± 1.04	5.27 ± 0.90	3.91 ± 1.76	5.73 ± 1.74	5.64 ± 1.69	6.36 ± 1.21	5.55 ± 1.92
	1kGy	3.91 ± 1.45	4.45 ± 1.51	2.91 ± 1.22	4.45 ± 1.57	4.91 ± 2.02	6.27 ± 1.68	5.45 ± 1.86
	2kGy	4.55 ± 1.37	4.55 ± 1.04	3.09 ± 1.38	6.00 ± 1.34	5.00 ± 1.41	5.36 ± 1.63	5.27 ± 1.62
	Pr>F	0.6403	0.1144	0.3785	0.1076	0.7070	0.3507	0.2520

이상의 결과를 종합해보면 감마선 조사선량이 증가할수록 미생물성장효과는 높았고, 감마선 조사선량수준간에는 관능적인 특성에서 큰 차이를 보이지 않았으나 2kGy의 경우는 방사선 취를 소비자들이 쉽게 인지할 수 있을 정도였기 때문에 2kGy미만으로 조사할 경우에 감마선에 대한 소비자들의 인식을 새롭게 홍보를 충분히 한다면 위생적이고 저장기간이 더 신선계육의 생산이 가능할 것이라 생각된다.

2. 전자선 조사를 이용하여 신선계육 살균시 적정 조사수준 확립

가. 연구내용 및 방법

1) 실험재료

실험재료는 시중에서 시판되는 계육의 등심부위를 이용하였으며, 등지방은 완전히 제거하였고, 일정한 크기(두께 10cm)로 절단하여 전자선 조사에 이용하였다.

2) 전자선 조사 및 저장

실험재료의 전자선 조사는 호기적 조건에서 폴리에틸렌 필름으로 포장

하여 삼성중공업(주)중앙연구소 내 전자선 가속기를 이용하여 실온에서 1 MeV의 에너지 수준으로 총 흡수선량이 0.5kGy, 1kGy, 2kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 전자선의 투과 깊이가 4mm이기 때문에 위면과 아래면을 각각 1회씩 조사하였다. 전자선 조사 처리된 시료는 비조사 대조시료와 함께 $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 냉장상태로 저장하면서 실험에 이용하였다.

3) 생균수 계수

APHA(1985)의 Swab contact method를 수정하여 시료에서 미생물을 채취하였다. 면적이 10cm^2 인 주형판을 이용하였다. 호기적 중온성 균수는 위의 시료액 1ml을 Aerobic Count Petrifilm™(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 분주하여 37°C 에서 2일간 배양한 후 균락수를 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 1ml을 분주하여 37°C 에서 2일간 배양한 후 계수하였다. 내냉성균은 중온성균수와 마찬가지로 Aerobic Count Petrifilm™(Microbiology Products 3M Health Care:AOAC, 1995)에 1ml을 분주하여 $4\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 10일간 배양한 후 계수하였다.

4) 이화학적 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)

시료의 저장중 지방산패정도를 조사하기 위하여 일주일 간격으로 Witte(1970)의 방법에 의해 TBA가를 측정하였다. 휘발성 염기태 질소(VBN)는 高坂(1975)의 방법에 의해서 측정하였다. 육색은 Chroma 미터(Minolta CR-210, Japan)를 이용하여 CIE $L^* a^* b^*$ 값을 측정하였다. pH는 포터블 pH 미터(Cole-Parmer Instrument Company, 미국)를 이용하여 측정하였다.

5) 관능적 특성 변화

관능검사는 10~20명의 관능요원에 의해서 삼점검사(triangle test)와 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)을 신선계육과 조리한 계육(심부온도 70℃)을 대상으로 실시하였다(김광욱 등, 1995). 삼점검사는 같은 두 시료와 다른 한 시료를 함께 주고 다른 것을 골라내는 방식으로 진행하여 전자선 조사취의 관능적 분리 수준을 알아보려 하였다. 척도묘사분석법은 신선육의 경우 색, 향기, 불쾌취, 기호성을, 조리육에서는 향기, 풍미, 불쾌취, 연도, 다즙성, 기호성을 조사하였다.

6) 통계분석

통계 분석을 위해 위의 실험을 3반복 수행하였으며, SAS(1995) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 Duncan test를 수행하였다.

나. 연구결과 및 고찰

1) 미생물 변화

미생물에 의한 식육의 부패는 저장기간이 길어짐에 따라 초기 미생물 수준이 많은 영향을 미치므로 전자선을 조사하여 초기 미생물 수준을 감소시킴으로서 저장기간을 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.

전자선을 조사한 계육의 총균수 즉 호기적 증온성균의 변화는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 전자선을 조사하지 않은 계육은 전자선을 조사한 날의 미생물 수준은 전자선을 조사하지 않은 계육의 경우에 10^4 CFU(colony forming unit)/㎎으로 가장 높은 수준으로 나타났다. 저장기간이 지남에 따라 모든 시료는 점진적으로 증가하는 경향을 보였으며, 저장기간 초기에 가장 높은 수준을 나타냈던 무처리 계육의 경우 저장기간 동안 다른 시료들보다 높은 수준을 유지하였고 상당한 유의성을 나타내었다($P < 0.01$). 전자선 조사를 한 경우 조사선량이 증가될수록 미생물의 감소정

도는 크게 나타 났고 고도의 유의성을 나타내었다($P < 0.001$). Banati 등 (1993)은 *Escherichia coli*를 계육에 접종하여 0.5kGy, 1kGy, 1.5kGy, 2kGy수준으로 전자선 조사를 하여 *Escherichia coli*의 생존율을 살펴본 결과 전자선 조사선량이 증가함에 따라 그 생존율이 낮았음을 보고하였다. 저장10일이후에는 전자선 조사를 하지않은 계육의 경우 일반 세균에 의한 부패수준인 $\log_{10} 7.00(10^7)$ CFU/cm²에 도달할 것으로 예상된다. Fig. 2 는 내냉성균의 변화로서 일반적으로 냉장온도에서 증식하는 미생물의 변화를 살펴본 것이다. 내냉성균에 의한 부패수준은 일반적으로 $\log_{10} 7.00(10^7)$ CFU/cm²로 알려져 있으며(Ayres, 1960; Hanna 등, 1979), 본 연구 결과에 의하면 전자선 조사를 하지 않은 경우에는 저장기간 8일에 부패수준을 넘었으며, 저장기간이 증가함에 따라 그 수준은 다른 시료에 보다 더 높았고 고도의 유의성을 나타내었다($P < 0.001$). 전자선을 조사한 시료는 모두 저장기간 동안 점진적으로 증가하는 경향을 보였고, 총균수에서와 마찬가지로 전자선 조사선량이 증가함에 따라 내냉균의 수준은 낮았다. 1kGy와 2kGy의 경우 10에 부패수준에 도달한 것으로 나타났다($P < 0.001$). 젖산균의 변화정도는 Fig. 3에서 나타냈다. 젖산균에 의한 부패수준은 $\log_{10} 8.00(10^8)$ CFU/cm²으로 본 실험결과에 따르면 전자선 조사를 하지 않은 경우나 전자선 조사를 한 경우 모두 저장기간 10일동안 그 부패수준에 도달하지 못한 것으로 나타났고, $P < 0.001$ 수준에서 고도의 유의성을 나타내었다. Shamsuzzaman 등(1994)의 연구 결과에 따르면 sous-vide처리를 하고 1.0kGy, 2.0kGy, 3.0kGy수준으로 전자선 조사된 계육 가슴부위의 젖산균수는 모두 저장기간 8주동안 0.18 log CFU/g이하의 수준을 나타내었고, 전자선 조사를 하지 않은 계육은 저장기간이 증가함에 따라 점진적으로 증가하였다고 보고하였다. 호기성 증온성균, 젖산균수, 내냉성균수 모두 전자선에 민감하게 반응함을 알 수가 있었고, 저장기간 10일에서는 전자선 조사를 하지않은 시료와 크게 차이는 없었으나 저장기간 초기에는 각 균총모두 차이가 크게 나타났음을 알수 있다. 특히

1kGy 이상을 조사한 경우에 미생물의 수준에 차이를 나타내고 있다. 즉 1kGy 이상으로 조사할 경우에는 호기성 중온성균, 젖산균, 내냉성균수를 1kGy 미만으로 조사하거나 조사하지 않은 경우 보다 낮게 유지할 수 있어서 저장기간을 증가시킬 수 있다.

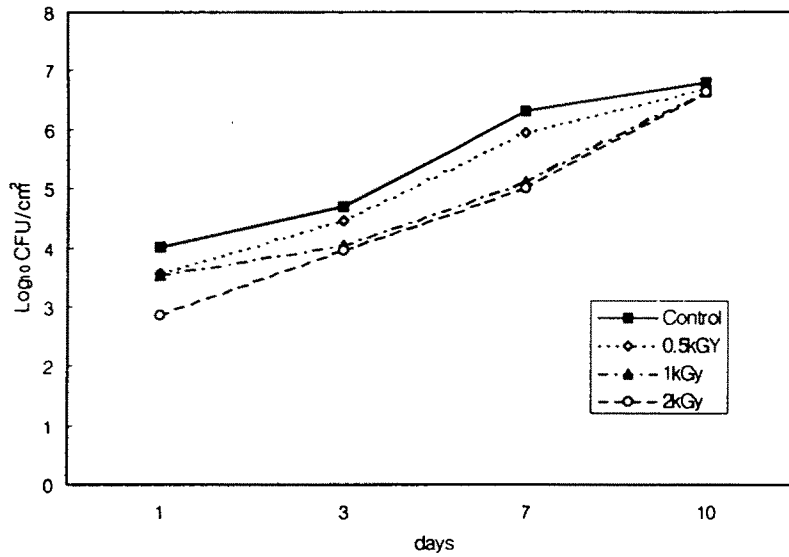


Fig. 1. Total aerobic bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

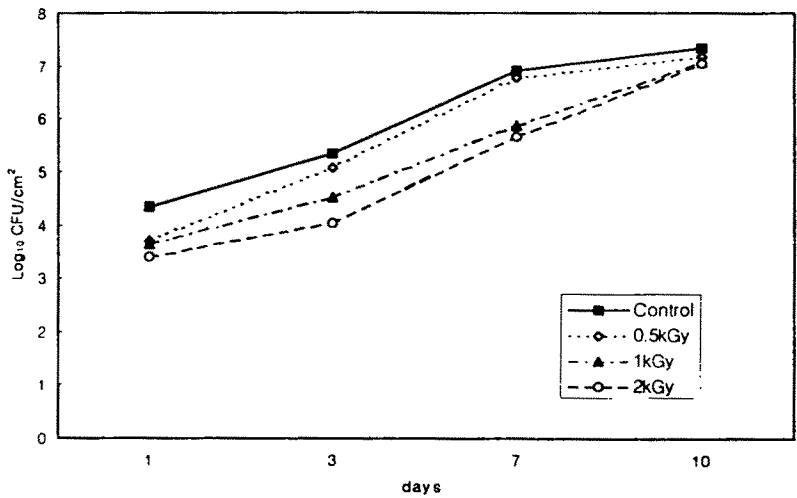


Fig. 2. Total psychrotrophic bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken during storage at $4\pm 2^\circ\text{C}$

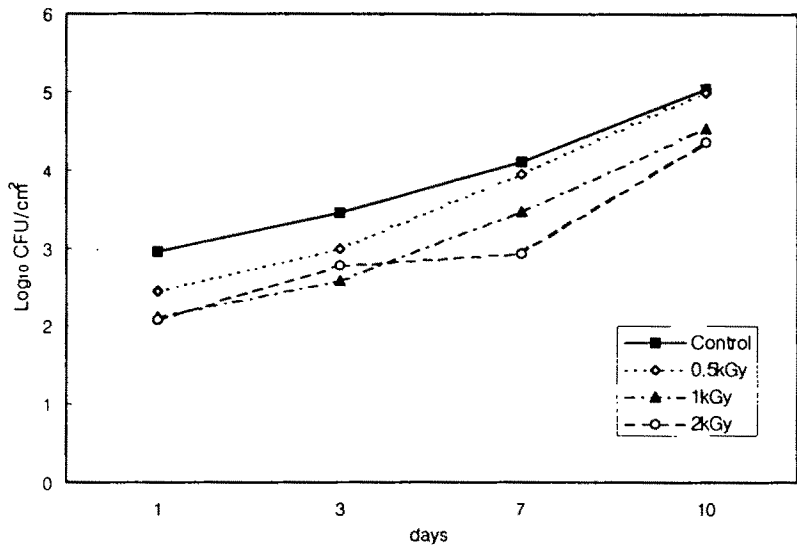


Fig. 3. Total lactic acid bacterial numbers in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken during storage at $4\pm 2^\circ\text{C}$

2) 이화학적인 특성 변화(TBA, VBN, color, pH)

가) 지방산화(TBA)

지방산화는 계육의 품질을 떨어뜨리는 주요 반응이다. 이는 바람직한 풍미를 손상시킬 뿐만아니라 불쾌취의 원인이 된다. 지방산화는 또한 색소의 변색 특히 헴(heme)과 carotenoids, 영양소의 파괴, 독성물질의 생성을 야기할 수 있다(Pearson 등, 1983).

전자선 조사를 한 식육의 기본적인 지방산화 기작은 전자선 조사를 하지 않은 시료와 같을 것으로 예상되었으나, 전자선 조사된 식육의 화학적인 상태는 무처리 시료의 상태와 전체적으로 다르다고 할수 있다(Ahn 등, 1997). 전자선 조사는 식육세포의 75%이상은 물로 구성되어 있기 때문에 식육내 hydroxyl radicals의 농도를 더 높게 생성한다(Thakur 등, 1994). Fig. 4, 5는 전자선 조사선량에 따른 TBA(thiobarbituric acid) value의 변화를 나타내는 결과로서 계육의 가슴부위와 다리 부위로 나뉘어 나타내었다. 가슴부위의 경우 저장기간 초기에는 2kGy 수준으로 전자선 조사된 시료가 0.08mgMA/kg으로 가장 높은 TBA value를 나타냈고($P < 0.05$), 저장 7일까지는 대체적으로 전자선 조사된 시료가 전자선 조사를 하지 않은 시료($P < 0.01$)보다 높은 수준을 나타내었다. 다리부위의 경우는 1kGy 수준으로 전자선 조사된 시료가 대체적으로 저장기간 초기에 가장 높았고($P < 0.001$) 저장 8일 이후부터는 전자선 조사선량이 증가함에 따라 높은 수준의 TBA value를 나타내었다($P < 0.001$). Ahn 등(1997)의 결과에서는 칠면조의 가슴부위와 다리부위 모두 전자선 조사를 한 경우가 더 크게 나타났다고 보고하였다. Fig. 4, 5에서 보는 바와 같이 저선량을 조사할 경우에는 지방산화에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 생각되며, 일반적으로 같은 조사선량의 경우 각각 다리부위가 가슴부위보다 TBA value가 더 높은 것으로 보아 근육조직내의 지방함량의 차이에 의해서도 나타날 수가 있을 것으로 예상된다. 전자선 조사후 7일 이후부터는 급격하게 지방산화

가 일어나게 되는 것을 알 수 있다.

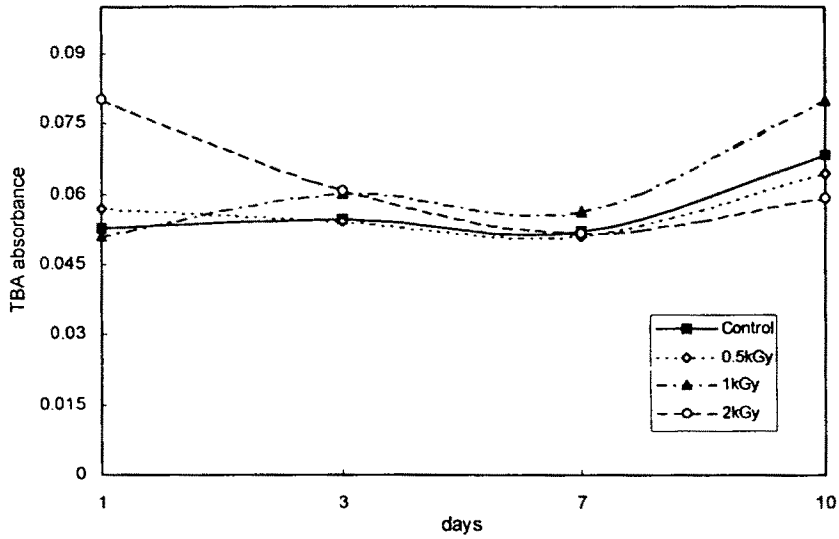


Fig. 4. TBA absorbance changes in nonirradiated and 0.5 and 1 and 2 kGy irradiated chicken breasts during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

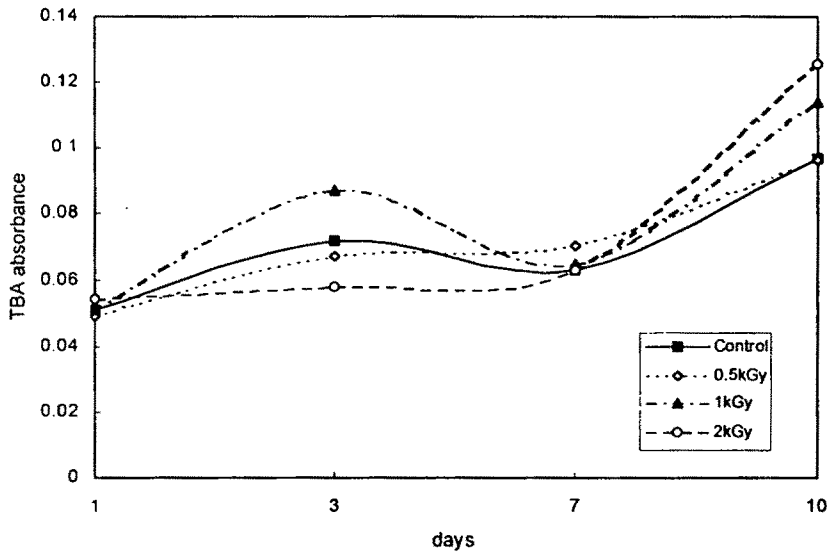


Fig. 5. TBA absorbance changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken thighs during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$.

나) VBN변화

저장기간이 경과함에 따라 일반적으로 식육은 근육단백질이 아미노산과 그 외에 여러 가지 무기태 질소로 분해가 되는데 이는 단백질의 가수분해에 따른 아미노산과 펩타이드의 증가에 의해서 휘발성 염기태 질소 (Volatile Basic Nitrogen: VBN)가 증가한다. 이런 기작으로 생성된 휘발성염기태질소를 측정하는 방법은 식육의 선도판정에 유효하다고 하였으며 (高坂, 1975), 휘발성 염기질소에 의한 저장성 판정에 있어서 생육가식권의 한계는 30mg%라고 하였다(高坂, 1991). 우리 나라 식품공전에는 생육 및 포장육에 한하여 휘발성염기태질소(VBN)의 함량은 20mg%이하로 규정되어 있는 반면에 일본에서는 30mg%이하로 되어 있으며 수입식육에 대한 유통기한 설정 시 이 기준을 적용하고 있다. 저장기간에 따라 돈육의 VBN은 증가하는 것으로 보고되고 있다. Fig 6, 7은 전자선조사선량에 따른 VBN value의 변화를 나타낸 결과로서 저장기간이 증가함에 따라 가슴부위는 서서히 증가하였고, $P < 0.01$ 의 수준에서 유의성을 나타낸 2kGy의 경우만 제외하고 모든 시료들은 고도의 유의성을 나타내었고($P < 0.001$), 다리부위는 서서히 증가하다가 7일부터 급격히 증가하였다($P < 0.001$). 野崎 등 (1992)의 결과에서는 휘발성 염기질소는 세균의 증식 정도와 밀접한 관계가 있어서 세균수가 증가하여 관능적으로 초기부패가 느껴질 때까지는 그 증가폭이 적고 그 이후에는 급속히 변화된다고 보고하였다. 가슴부위와 다리부위 모두 전자선 조사를 하지 않은 경우 저장기간동안 다른 시료보다 높았고, 가슴육의 경우는 모든시료가 우리나라 식품공정에서 부패수준으로 규정된 20mg%이하의 수준을 나타내었다. 다리육의 경우는 9일 이후에 부패수준을 넘었다는 것을 나타내었다.

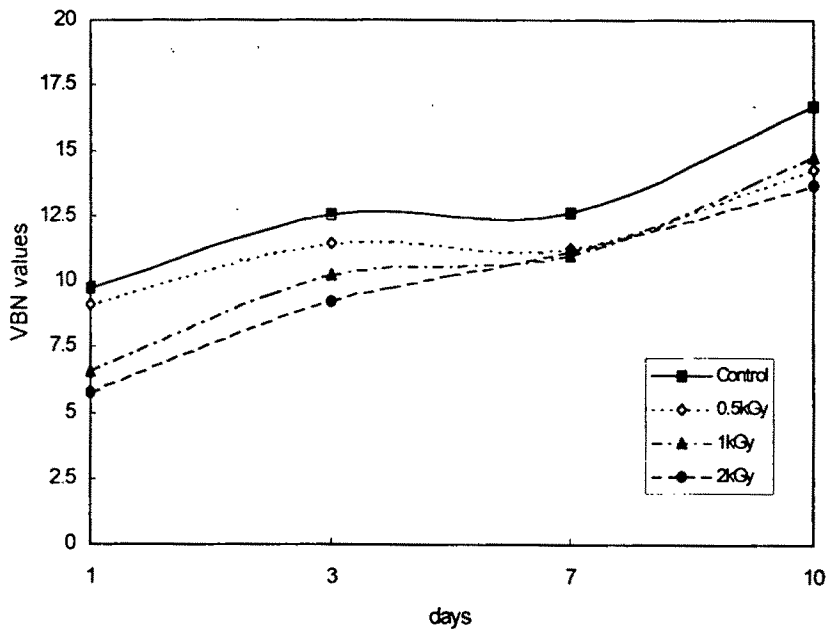


Fig. 6. VBN value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken breasts during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

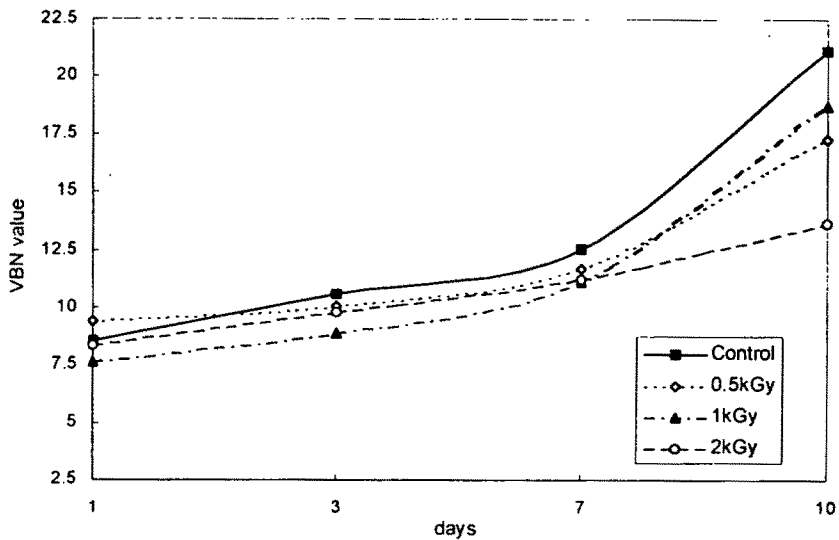


Fig.7. VBN value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken thighs during storage at $4\pm 2^{\circ}\text{C}$

다) 육색의 변화

일반적으로 육색은 소비자들의 기호성에 많은 영향을 미치는 요인이 되며 또한 식육의 품질을 결정하는 중요한 척도가 된다. 그러므로 전자선 조사선량에 따른 육색의 변화를 살펴보는 것은 매우 중요하다. 본 실험에서는 CIE $L^*a^*b^*$ 를 이용하여 육색을 객관화하였다. Fig. 8, 9, 10은 계육의 가슴부위에 대한 L^* , a^* , b^* value를 나타내었다. 저장 중의 가슴부위 백색도를 나타낸 Fig. 8를 살펴보면 전자선 조사를 한 시료의 경우 저장초기 감소하였고, 특히 0.5, 2kGy수준의 경우는 7일까지 급격히 증가하였으나 다시 감소하는 경향을 나타냈다. 전자선 조사를 하지 않은 경우는 일정하게 감소하는 것으로 나타났고, $P < 0.001$ 수준에서 유의성이 있었다. a^* value는 적색도를 나타내는 지수로서 Fig. 9에 나타난 결과를 살펴보면 2kGy로 조사된 경우 저장기간 중 3일째 가장 높았고, 반면 전자선 조사를 하지 않은 가슴부위의 경우는 2kGy수준으로 조사한 시료와는 반대로 3일째 가장 낮았으며 저장기간 중에 서로 반대되는 변화의 경향을 나타내었다. 전자선 조사하지 않은 시료와 0.5kGy, 2kGy수준으로 각각 조사한 시료들 모두 고도의 유의성을 나타내었다($P < 0.001$). 황색도를 나타내는 b^* value는 Fig. 10를 살펴보면 저장초기 2kGy의 경우 a^* value에서와 같이 가장 높은 경향을 보였고($P < 0.001$), 전자선 조사를 하지 않은 계육의 가슴부위의 경우 저장기간 7일이후 증가하는 경향을 나타내었다($P < 0.01$). Fig. 11에서 나타낸 계육의 다리부위에 대한 백색도 L^* value는 식육자체의 색차이에 의해 가슴부위의 백색도 보다 낮은 범위를 나타내었고, 저장초기 가슴육에서와 비슷한 경향으로 전자선 조사를 한 시료들이 전자선 조사를 하지 않은 경우보다 낮은 백색도 수준을 나타내었다. 저장 중 계육 다리부위의 a^* value를 나타낸 Fig. 12를 살펴보면 저장기간중 적색도는 대체적으로 감소하는 경향을 나타내었고, 0.5kGy수준으로 전자선 조사된 다리부위의 경우 저장 3일째 가장 높은 값을 보였으며, $P < 0.001$ 수준에서 유의성을 나타내었다. b^* value는 황색도를 나타내는 지수로서

a^* value와 함께 식육색을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 저장기간중에 황색도의 변화를 살펴보면 2kGy수준에서 전사선 조사된 계육의 다리부위의 경우 다른 시료에 비해 높은 수준을 나타내었고, 무처리 계육의 다리부위의 경우 저장 7일까지 0.5kGy, 1kGy수준으로 조사된 시료와는 반대의 경향을 나타내다가, 7일 이후에는 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 7). 이러한 경향은 미생물이 증식함에 따라 미생물에 의해 산소분압이 낮아지거나 pH를 변화시켜 myoglobin의 산화를 촉진시키고, heme색소의 globin부분을 분해하여 myoglobin의 색을 갈색으로 변하게 하고 색소를 생성하여 변색반점등이 형성되므로 전체적으로 신선육의 색이 갈색으로 변하게 된다. 따라서 백색도, 적색도가 일반적으로 감소하게 되고, 이에 반해 황색도는 점차로 증가하게 되는 것을 생각된다.

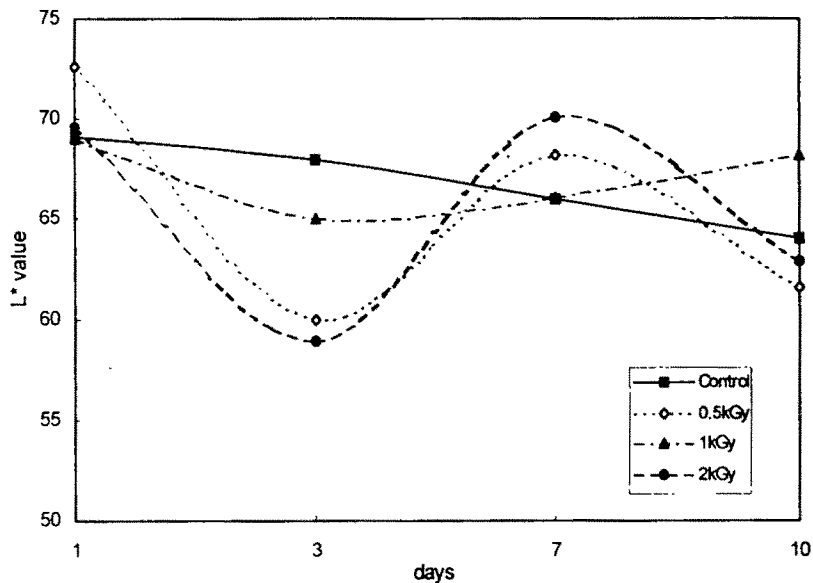


Fig. 8. L^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken breasts during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

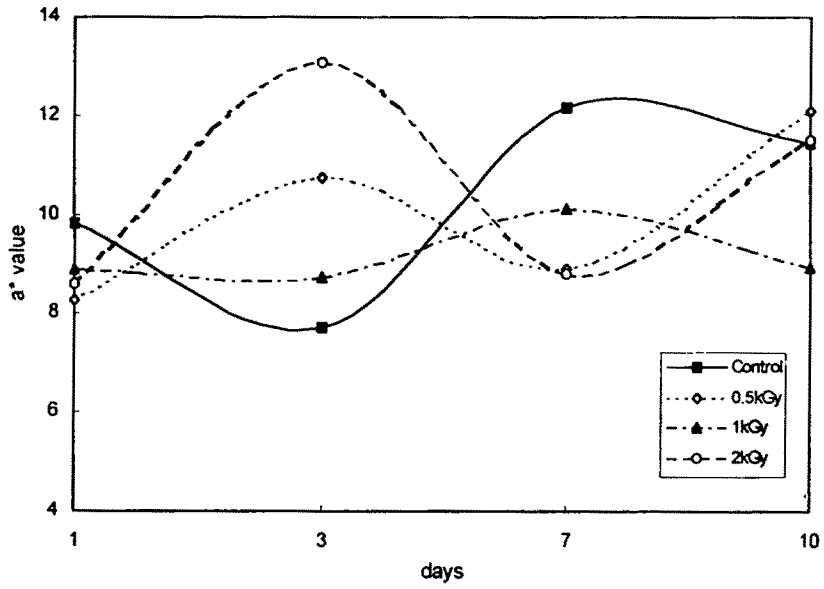


Fig. 9. a^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken breasts during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

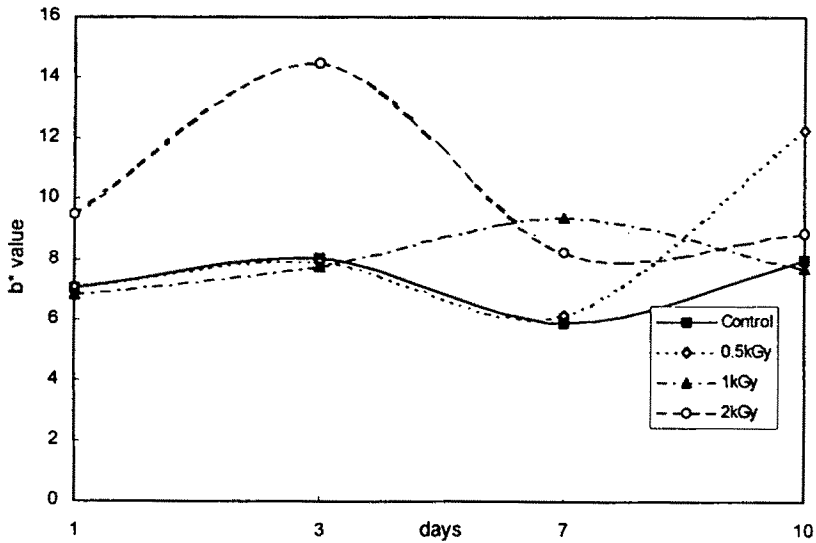


Fig. 10. b^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken breasts during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

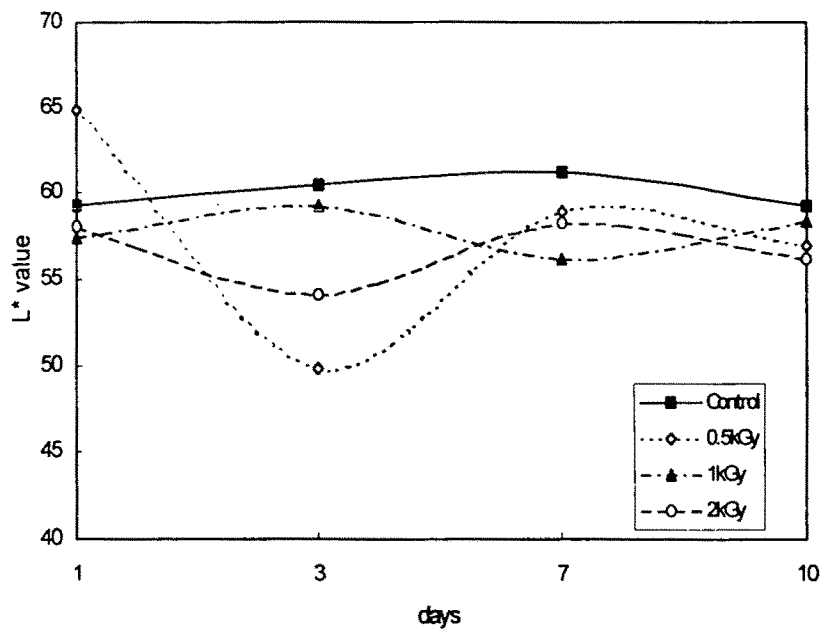


Fig. 11. L^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken thighs during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

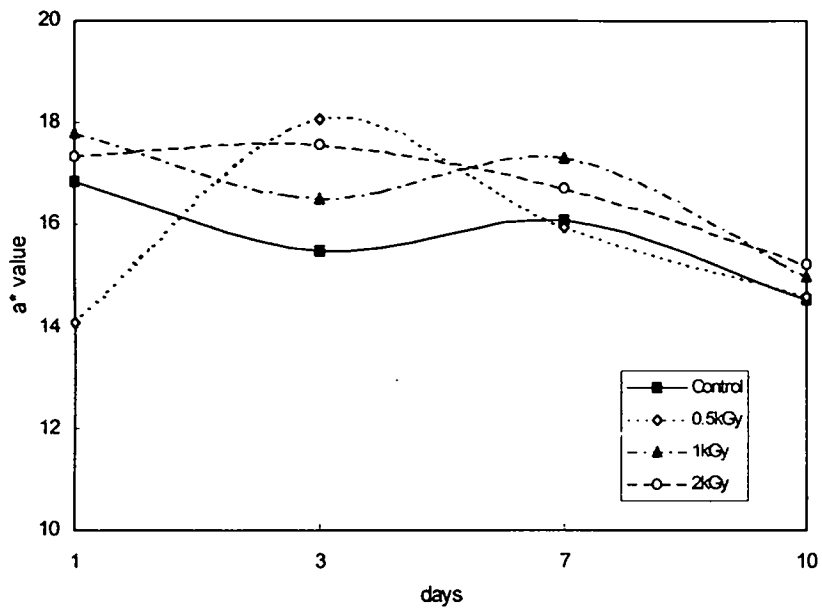


Fig. 12. a^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken thighs during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

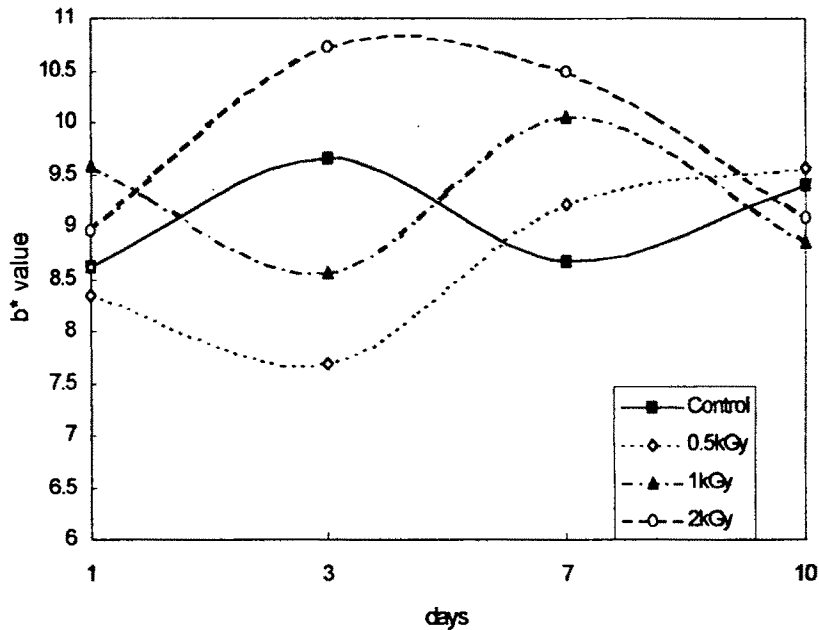


Fig. 13. b^* value changes in nonirradiated and 0.5, 1 and 2 kGy irradiated chicken thighs during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

라) pH변화

살아있는 가축의 pH는 거의 중성에 가깝지만 사후 해당작용에 의해 젖산이 축적되어 pH는 감소하게 된다. 젖산생성의 비율과 최종 pH는 육색, 보수성, 단백질 용해도, 미생물 변패 등의 속도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 신선육의 최종 pH는 대략 5.4 정도로 알려져 있다. 전자선 조사후 저장기간 동안 pH의 변화는 Fig. 14, 15에 나타나 있다. 계육의 가슴부위육의 pH 변화를 나타낸 Fig. 14를 살펴보면 전자선 조사를 한 당일은 전자선을 조사하지 않은 시료가 다소 높은 경향을 보였고, 이후 저장 3일에는 pH 5.6 수준으로 감소하였으나 이후 점진적으로 증가하였다($P < 0.001$). 0.5kGy수준으로 전자선 조사된 계육의 가슴부위육

은 저장 3일 쯤 다른 시료에 비해 높은 경향을 나타내었고 이후 서서히 감소하였다($P < 0.001$). 하지만 2kGy를 조사한 경우에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. Fig. 15에서 나타낸 전자선 조사된 계육의 다리부위육의 경우를 살펴보면 일반적으로 전자선 조사된 가슴부위육과 조사되지 않은 가슴부위육의 수준보다 높은 경향을 나타내었다. 0.5kGy수준으로 조사된 계육의 다리부위육의 경우 전자선 조사를 한 당일에는 pH value가 6.196으로 다소 낮았으나 일반적으로 저장기간이 경과함에 따라서 시료들 간의 많은 차이를 볼 수 없었다. 일반적으로 저장중에 산패정도가 높아질 수록 식육의 pH는 높아지는 경향이 있으며(Holley 등, 1994), 본 실험에 서는 유사한 경향을 나타냈다.

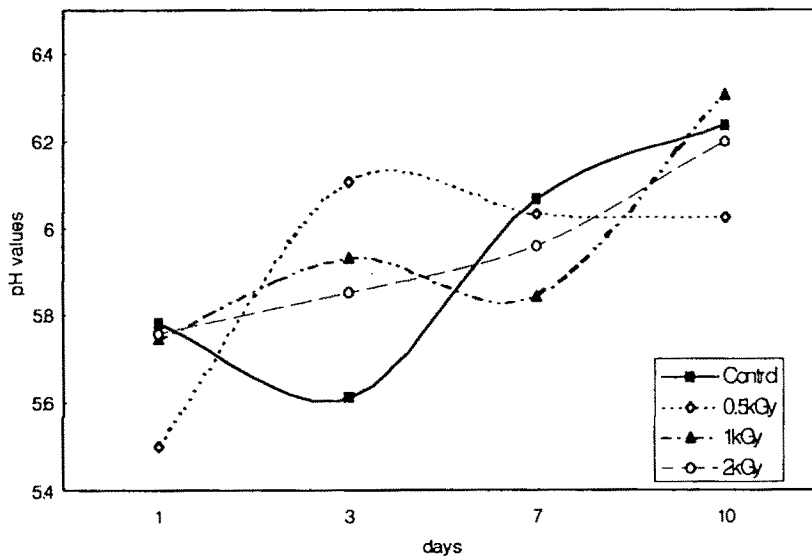


Fig. 14. pH value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated chicken breasts during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$

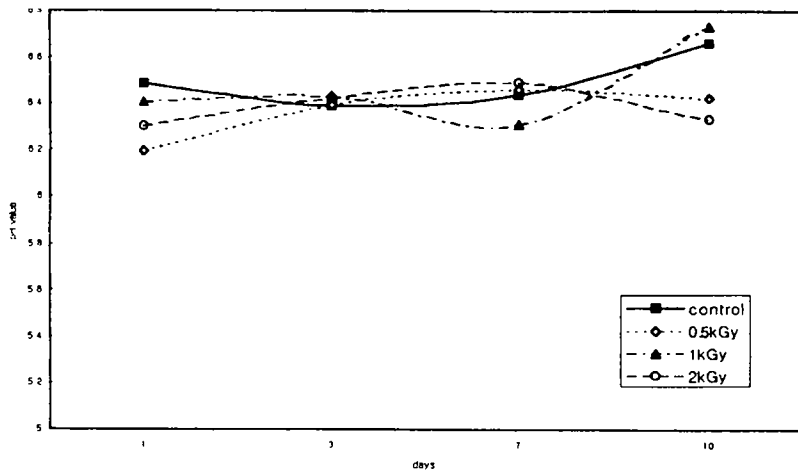


Fig. 15. pH value changes in nonirradiated and 0.5, 1, 2 kGy irradiated chicken thighs during storage at $4 \pm 2^\circ\text{C}$.

3) 관능검사

Table 1에서 나타낸 삼점검사(Triangle test)는 무처리 계육과 0.5kGy, 1kGy, 2kGy수준으로 전자선 조사된 계육 2종류씩 짝을(0-0.5, 0-1, 0-2, 0.5-1, 0.5-2, 1-2)지어 총 6짝을 비교하였으며, 계육의 가슴부위육과 다리부위육을 나누어 각각 실시하였다. 이중에 각 조합에서 시료간의 차이를 구분한 경우가 10이상인 경우에 한해서 식별강도를 구할 수 있었다. 각 식별강도는 낮음(sight), 보통(moderate), 많음(much), 매우 많음(extreme)에 각각 1, 2, 3, 4점을 주어 각각을 지목할 사람 수를 곱하고 이것을 전체 맞춘 사람 수로 나누어 수식화하였다. 선호도 조사는 두 종류의 시료중 다른 하나를 구별할 수 있었던 검사요원의 결과만을 고려하여 맞춘 검사요원의 수를 나눈 값으로 표시하였다. 삼점검사 결과를 나타낸 Table 1에서 보는 바와 같이 신선육의 경우 가슴부위육은 0-1, 다리부위육에서는 0.5-2짝 사이에서 유의성 있는 결과를 얻었고($P < 0.05$), 조리한 경우 가슴부위육은 0.5-1, 0.5-2, 다리부위육의 경우는 0-1, 0-2, 0.5-1, 1-2짝 사이에서 유의성 있는 결과를 얻었다. 이들 결과를 분석하

여 보면, 다리부위육에서 조리를 한 경우와 신선육의 경우 식별강도는 대체로 조사수준간의 차이가 많이 날수록 높은 것으로 나타났다. 대체로 신선육의 경우 조리한 계육을 이용하여 얻은 결과보다 식별강도가 높게 나타났다는데 이는 조리과정중에 전자선취에 영향을 미치는 풍미물질이 휘발되었기 때문인 것으로 생각되어 진다.

Table 1. Degree of difference and acceptability in various pairs

	Part	Pair	Degree of difference	Acceptability
Fresh chicken	breast	0-0.5	2.00	2 : 3
		0-1	1.86*	3 : 4
		0-2	1.83	2 : 4
		0.5-1	1.33	2 : 1
		0.5-2	2.00	2 : 4
		1-2	2.75	1 : 3
	thigh	0-0.5	2.00	1 : 4
		0-1	2.00	2 : 2
		0-2	2.50	1 : 1
		0.5-1	2.00	2 : 3
		0.5-2	2.43*	4 : 3
		1-2	2.17	6 : 0
Cooked chicken	breast	0-0.5	1.50	2 : 4
		0-1	1.17	5 : 1
		0-2	1.17	3 : 3
		0.5-1	1.25**	3 : 5
		0.5-2	1.78***	6 : 3
		1-2	1.00	2 : 3
	thigh	0-0.5	1.33	2 : 1
		0-1	2.36***	6 : 5
		0-2	2.20***	5 : 5
		0.5-1	1.25**	6 : 2
		0.5-2	1.00	1 : 1
		1-2	2.25**	4 : 4

신선계육을 이용한 척도묘사분석법(descriptive analysis with scaling)에 의한 결과가 Table 2에서 나타나 있다. 향기는 가슴부위육의 경우 처리간의 차이가 크게 나타나지 않았고, 다리부위육에서는 전자선 조사를

하지 않은 시료가 가장 높은 수준을 나타내었다. 불쾌취의 경우 가슴부위육과 다리부위육에서 전자선 조사된 시료가 무처리 시료보다 높은 수준을 나타내었고, 조사선량에 따라서 다소 증가하는 것으로 나타났다. 육색의 경우 가슴부위육은 조사선량이 가장 높은 2kGy가 가장 낮은 수준을 나타내었고, 다리부위육은 고도의 유의성을 나타내는 것으로 관찰되었다(P < 0.001). 전자선 조사를 하지 않은 가슴부위육을 가장 선호하였고, 다리부위육에서는 1kGy 수준에서 전자선 조사된 시료를 선호하는 것으로 나타났다.

Table 3은 조리된 계육의 가슴부위육과 다리부위육의 척도묘사분석법을 요약하여 나타내었다. 신선육에서와는 달리 조리육은 불쾌취의 시료간에 차이가 다소 크게 나타나지 않았으나 전자선 조사된 시료가 무처리 시료보다 높은 수준을 나타내었다. 육색의 경우 전자선 조사된 가슴부위육이나 다리부위육 모두 무처리 시료와 큰 차이는 없었다. 가슴부위육에서는 1kGy수준으로 조사된 시료를 다리부위육에서는 무처리 시료를 가장 선호하였다.

Table 2. Descriptive analysis with scaling with scaling of fresh chickens irradiated with electron beam.

Part	Items		Aroma	Off-flavor	Color	Purse loss	Acceptability
	Dose						
Breast	Nonirradiated		3.83±1.85	2.83±1.99	3.00±1.54	3.42±1.88	4.92±1.88
	Irradiated	0.5 kGy	3.67±1.87	3.00±1.71	3.33±1.44	3.92±2.68	4.83±1.53
		1kGy	3.67±1.92	3.08±1.51	3.00±1.35	4.25±2.53	4.33±1.44
		2kGy	4.08±1.56	3.25±1.91	2.83±1.40	3.33±1.83	4.25±1.91
Thigh	Items		Aroma	Off-flavor	Color***	Purse loss	Acceptability
	Dose						
	Nonirradiated		4.83±1.47	2.17±1.08	6.08±1.00 ^b	4.08±2.31	4.67±2.15
	Irradiated	0.5 kGy	4.00±2.09	2.92±2.26	5.17±1.47 ^b	3.33±2.02	4.50±1.78
		1kGy	3.83±1.85	3.08±0.94	7.33±1.07 ^a	4.00±2.04	5.67±1.50
2kGy		4.08±1.83	3.25±1.83	5.33±1.15 ^b	4.08±2.19	4.83±1.47	

^{a, b} Means±SD with different superscripts in the same column differ significantly.

*** : P < 0.001

Table 3. Descriptive analysis with scaling with scaling of cooked chickens irradiated with electron beam.

Part	Items		Aroma	Flavor	Off-flavor	Color	Juice	Tenderness	Acceptability
	Dose								
Breast	Nonirradiated		3.91 ± 1.81	4.36 ± 2.01	2.27 ± 1.19	3.18 ± 1.83	3.90 ± 2.43	5.64 ± 1.50	5.18 ± 2.56
	Irradiated	0.5 kGy	4.73 ± 1.68	5.55 ± 1.37	2.64 ± 1.36	3.36 ± 2.01	4.45 ± 2.16	5.64 ± 2.34	5.82 ± 2.23
		1kGy	4.45 ± 1.75	4.64 ± 1.50	2.32 ± 1.33	3.08 ± 1.99	5.18 ± 1.66	5.18 ± 1.72	5.45 ± 1.86
		2kGy	4.00 ± 1.67	4.18 ± 1.33	2.91 ± 1.92	2.82 ± 1.78	5.00 ± 2.28	6.18 ± 1.60	4.55 ± 2.07
Thigh	Nonirradiated		4.64 ± 1.80	5.55 ± 1.37	2.89 ± 1.19	5.27 ± 1.42	5.45 ± 1.63	6.45 ± 1.75	6.73 ± 1.95
	Irradiated	0.5 kGy	4.45 ± 1.04	5.27 ± 0.90	3.91 ± 1.76	5.73 ± 1.74	5.64 ± 1.69	6.36 ± 1.21	5.54 ± 1.92
		1kGy	3.91 ± 1.45	4.45 ± 1.51	3.27 ± 1.22	4.45 ± 1.57	4.91 ± 2.02	6.27 ± 1.68	5.45 ± 1.86
		2kGy	4.54 ± 1.37	4.54 ± 1.04	3.09 ± 1.38	6.00 ± 1.34	5.00 ± 1.41	5.36 ± 1.63	5.27 ± 1.62

이상의 결과를 종합해 보면, 0.5kGy, 1kGy, 2kGy를 조사하게 되면 초기 미생물 수준이 상당히 저하되어 저장기간을 증가할 수 있고, 관능검사결과 방사선취를 어느정도 인지하기 때문에 기호성이 떨어지는 단점을 가지고 있으나, 무처리 시료와 차이가 큰 수준은 아닌 것으로 나타내었다. 따라서 2kGy이상으로 조사한다는 것은 저장기간의 증진을 위해서 유리하지만 상대적으로 관능적인 특성이 많이 떨어진다. 따라서 0.5kGy~2kGy수준으로 조사할 경우 관능적인 손실 없이 저장기간을 증가시키는데 효과적일 것으로 생각된다.

제 4 절 참고문헌

- 1) Ahn, D. U., Olson, D. G., C. Jo, X. Chen, Wu & J. I. Lee. 1998. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. *Meat Sci.* 49(1):27-39.
- 2) AMIF. 1993. A study of consumers' awareness, knowledge and attitudes toward the process of irradiation. Amer. Meat Inst. Found., Arlington, VA.
- 3) AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- 4) APHA. 1985. Standard Methods for the Examination of Dairy Products. 15th ed., ed. G.H. Richardson. Am. Pub. Health Assoc., Washington, D.C.
- 5) Ayres, J.C. 1960. The relationship of organisms of the genus *Pseudomonas* to the spoilage of meat, poultry and eggs. *J. Appl. Bacteriol.* 23:471
- 6) Banati, D., Fielding, A. S., Grandison & P. E. Cook. 1993. The effect of combinations of irradiation and pH on the survival of *Escherichia coli* on chicken meat. *Letters in Applied Microbiology.* 16:239-242
- 7) Bruhn, C.M. 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. *J. Food Prot.* 58:175
- 8) Gotoh, T. and Shikama, K. 1974. Autocxidation of oxymyoglobin from bovine heart muscle. *Arch. Biochem. Biophys.* 163:476
- 9) Hanna, M.O., Smith, G.C., Hall, L.C., and Vanderzant, C. 1979. Role of *Hafnia alvei* and *Lactoacillus* species in the spoilage

- of vacuum packaged strip loin steaks. J. Food Sci. 42:569
- 10) Holley, R.A., Garipey, C., Delaquis, P., Doyon, G., and Gagnon, J. 1994. Static, controlled(CO₂) atmosphere packaging retail ready pork. J. Food Sci. 59(6):1296
 - 11) Lambert, J.D., and Maxcy, R.B. 1984. Effect of gamma radiation on *Campylobacter jejuni*. J. Food Sci. 49:665
 - 12) Lebepe, S., Molins, R.A., Caroen, S.P., Farrar IV, H., and Skowronski, R.P. 1990. Changes in microflora and other characteristics of vacuum-packaged pork loins irradiated at 3.0kGy. J. Food Sci. 55(4):918
 - 13) Luchsinger, S.E., D.H. Kropf, C.M. García Zepeda, M.C. Hunt, J.L. Marsden, E.J. Rubio Cañas, C.L. Kastner, W.G. Kuecker, and T. Mata. 1996. Color and oxidative rancidity of gamma and electron beam irradiated boneless pork chops. J. Food Sci. 61(5):1000
 - 14) Mattison, M.L., Kraft, A.A., Olson, D.G., Walker, H.W., Rust, R.E., and James, D.B. 1986. Effect of low dose irradiation of pork loins on the microflora, sensory characteristics and fat stability. J. Food Sci. 51(2):284
 - 15) Murano, Elsa A. 1995. Irradiation of fresh meats. Food Tech. December. 52
 - 16) Pearson, A. M., Gray, J. I., Wolzak, A. M. and Horenstein, N. A. 1983. Safety implications of oxidized lipids in muscle foods. Food Technol. 37(7):121
 - 17) SAS(1995). SAS/STAT Software for PC. Release 6.11, SAS Insititute, Cary, NC, U.S.A.

- 18) Shamsuzzaman, K., Lucht, L., Noemi Chuaqui-offermanns. 1994. Effects of combined electron-beam irradiation and sous-vide treatments on microbiological and other qualities of chicken breast meat. *J. Food Prot.* 58(5):497-501.
- 19) Stevenson, M.H. 1992. Irradiation of meat and poultry in *The Chemistry of Muscle-based Foods*. ed. D.E. Johnston, M.K. Knight, and D.A. Ledward. Royal Society of Chemistry. p308
- 20) Weakley, D.F., McKeith, F.K., Bechtel, P.J., Martin S.E. and Thomas, D.L. 1986. Effects of different chilling methods on hot processed vacuum packaged pork. *J. Food Sci.* 51(3):757
- 21) Witte, V.C., Krause, G.F., and Bailey, M.E. 1970. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *J. Food Sci.* 35:582
- 22) Anonymous. 1994. Why is irradiated meat marking progress in Europe. *Meat Proc.* April, 20-22
- 23) Dessouki, T. M., Soliman, I. M., Afifi, Y. and Saied, S. X. 1978. Acceleration of fattening beef meat aging by means of antibiotics and ionizing irradiation. *Agric. Res. Review* 56:115-126
- 24) Hayashi, T. 1991. Comparative effectiveness of gamma-rays and electron beams in food irradiation. In *Food Irradiation*. 25)Thorne, S. (ed.), Chapter 7, Elsevier Applied Sci., London.
- 26) Lee, M., J. G. Sebrarek, D. Olson and J. Dickson. 1995. Low-dose irradiation in combination with packaging for fresh meat and poultry. *J. Food Protection*(in press).
- 27) Lee, M., Sebranek, J. and Parrish, F. C., Jr. 1995.

- Electron-beam irradiation and modified atmosphere packaging for the accelerated postmortem aging of beef. *J. Food Sci.* (submitted)
- 28) McMurray, C. H. Food irradiation-the challenge. In *Food Irradiation and the Chemist*. Johnston, D. E. and Steckenson, 29)M. H. (ed.), Chapter 1, The Royal Soc. of Chem. G.B.
- 30) Morrision. R. M. 1989. An economic analysis of electron accelerators and cobalt-60 for irradiating food. USDA Economic Res. Service. mosphere packaging. IFT Abstract, 68C-14, Anaheim, CA.
- 31) Olson, D. G. 1994. Food irradiation with electron beam.
32) Presented at 13th ann. Midwest Food Proc. Conf.
- 33) Rosenthal, I. 1992. Ionizing radiation. In *Electrimagnetic Radiations in Food Science*. Chapter 1, Springer Verlag, N.Y.
- Silva, H. A. and Nines, M. L. 1994. Sensory and microbiological assessment of irradiated bluejack mackerel (*Trachurus picturatus*). *J. Sci. Food. Agric.* 66:175-180
- 34) Snyder, C. F. 1973. Method of tenderizing meat. U.S. Patent 3,761,283. Sep. 25.
- 35) Urbain, W. M. 1986. *Food Irradiation*. Academic Pressm, Inc.
- 36) Wilson, G. D., Brown, P. D., Chesbro, W. R., Ginger, B. and Weir, C. E. 1960. The use of antibiotics and gamma irradiation in the aging of steaks at high temperatures. *Food Technol.* 14:143-147
- 37) Y, Zhao, J. G. Sebranek, Mooha Lee and J. Dickson. 1995. Physical, chemical and sensory characteristics of irradiated

fresh pork loin cuts packaged in modified atmosphere packaging. IFT Abstract, 68C-14, Anaheim, CA.

- 38) 野崎 義孝, 1992. 鶏肉の鮮度管理. 食肉の科學. 33:191.
- 39) 高坂和久. 1975. 肉製品の鮮度保持と測定. 食品工業. 18:105.
- 40) 高坂和久. 1991. 畜産物の鮮度保持. 范披書房. p 52.
- 41) 김광옥, 이영춘. 1995. 식품의 관능검사. 학연사. 서울
- 42) 민중석, 이무하, 김일석, 정명섭. 1997. 감마선 조사에 의한 국내 산 신선돈육의 미생물학적, 이화학적 및 관능적 특성 변화. 한국 축산학회지. 39(5):567-576.
- 43) 민중석, 이무하. 1997. 미트저널. 12월호. p77.
- 44) 이무하. 1995. 전자선을 이용한 신선근육식품의 저수준방사선 조사. 식품과학과 산업. 28(2):13

제 3 장 감마선, 전자선 조사 처리가
쇠고기의 숙성과 병원성 및 부패성
미생물 생장에 미치는 효과에
대한 연구(한국식품위생연구원)

제 3 장 감마선, 전자선조사 처리가 쇠고기의 숙성과 병원성 및 부패성미생물 생장에 미치는 효과에 대한 연구

제 1 절 감마선 조사 처리가 쇠고기 숙성에 미치는 효과에 대한 연구

1. 서 론

쇠고기는 도살 후에 사후강직이 일어나기 때문에 숙성을 시켜야 하는 단계가 필요하기도 하는데, 일반적으로 고기는 숙성을 통하여 연도가 개선되고 풍미가 증진되는 것으로 알려져 있다(Dransfield 등, 1981; Davey와 Gilbert, 1976; Lanari 등, 1987). 연도는 고기의 기호성을 좌우하는 중요한 요소로서 사후강직이 완료된 actin과 myosin간의 상호 결합이 많아 연도가 저하된다. 이러한 도체육의 연도를 증진시키기 위해서는 통상적으로는 쇠고기 반도체를 0~5℃에서 약 7~14일 정도 저장하여 숙성시킨다(Dransfield 등, 1981). 쇠고기의 숙성은 근육 내의 단백질 분해효소인 calpain의 활성화(Koohmaraie, 1994; Dransfield, 1994)이나 사후 근육의 온도(Parrish 등, 1969; Minks 등, 1972; Davey와 Gilbert, 1976)와 pH(Bruce와 Ball, 1990)등 여러 가지 요인에 따라 영향을 받는다.

근육의 단축현상은 온도와 직접적인 관련이 있으며, 도체와 외부 온도와와의 차이가 크면 클수록 단축의 정도도 커지고 이러한 현상을 저온단축이라고 한다 (Newbold와 Harris, 1972). 이러한 저온단축을 최소화하기 위하여 고온숙성 처리를 하는데, 고온숙성은 숙성 기간을 단축시키고, 사후 근육의 온도가 높은 상태에서 효소 활력이 높아져 고기의 연화가 신속

히 이루어질 수 있기 때문에 고온숙성에 관한 많은 연구가 수행되고 있다(Tornberg와 Larsson, 1986; Parrish 등, 1969; Petaja 등, 1976). 숙성 중에는 근질(Sarcomere)내에 Z-line의 붕괴에 의해 연화 효과가 나타날 수 있다 (Davey와 Gilbert, 1969). Olson등 (1977)은 2℃와 25℃에서 저장한 쇠고기를 비교하였는데 25℃에서 저장한 쇠고기가 더 빠르게 Myofibrils의 붕괴를 보였다고 보고하였다. Dransfield (1994)는 냉장 온도에서 3주까지의 숙성은 연도 개선에 효과적이지만, 장기간의 저장으로 많은 비용이 소요되고, 미생물 오염의 위험이 있다고 보고하였다. Davey와 Gilbert(1976)는 신선육에서 효소의 활성은 온도의 증가에 따라 증가되므로 쇠고기의 숙성은 40℃ 까지 지속적으로 증가하나 쇠고기의 변색과 불쾌취를 초래하고, 미생물 성장을 촉진하여 쇠고기의 유통기간을 감소시킨다고 보고하였다.

식육은 부패되기 쉬운 식품중의 하나로 미생물의 오염 정도에 따라 식육의 품질과 저장 수명에 중요한 영향을 미친다. 원료육의 미생물 오염을 최소화하기 위한 연구중 비가열살균방법의 일종인 감마선 조사는 육류의 자연적 성질을 크게 변화시키지 않기 때문에 많은 연구가 이루어 졌다 (Proctor 등, 1955; Niemand 등, 1981; Lebepe 등, 1990). 일반적으로 소비자들은 식품의 감마선 조사를 꺼리는 경향이 있으나, 세계보건기구 (1988)에서는 총 평균선량 10kGy 이하의 감마선을 조사한 어떠한 식품도 독성이 없고, 따라서 10kGy 이하로 조사된 식품의 독성실험은 더 이상 이행할 필요가 없다고 결론지었다. 식육의 미생물을 완전히 살균하기 위해서는 4.5 Mrad 정도의 선량을 요한다. 그러나 이러한 고선량 감마선 조사는 육색소의 산화를 촉진하여 육색을 나쁘게 하고, 구조단백질의 변성 및 지방산패를 초래하여 품질을 저하시킬 수 있다. 최근의 감마선 조사 연구는 식육의 품질 저하를 최소화하는 저선량 감마선 조사에 집중되고 있다. Lawrie(1974)는 미생물의 활동이나 오염을 감소시키기 위해서는 낮은 온도에서 숙성시켜야 하지만 연도를 개선하기 위해서는 조직 내에 있

는 효소 활성이 향상되는 고온에서 숙성시켜야 하고, 방사선 조사는 미생물의 성장이나 활동을 억제할 수 있으므로 고온숙성의 단점을 보완할 수 있다고 주장하였다. 또한 Thayer(1993)는 고온숙성육의 방사선 조사는 미생물 억제하는데 효과적이라고 보고하였다. Dessouki 등(1978)은 우육의 배최장근을 polyethylene bag으로 포장한 후 5 kGy에서 조사한 후 45℃에서 숙성시켰을 때 24시간 후에 연화가 충분히 이루어졌으나, 방사선 조사로 변색과 지방산화가 촉진되는 부작용을 초래하였다고 보고하였다. 따라서 적절한 감마선 조사 수준과 숙성 온도를 선정하여 쇠고기의 품질 변화를 최소화하고 숙성 기일을 단축시킨다면 경제적으로 많은 이익이 발생할 것으로 예상된다.

본 연구는 저수준에서 감마선 조사하여 고온 숙성한 한우 쇠고기의 물리·화학적, 미생물학적 특성을 검토하여 쇠고기의 저장 및 풍미 증진에 적합한 감마선 조사량과 숙성 온도를 선정하고자 수행되었다.

2. 연구사

가. 방사선 조사의 역사

Roentgen, W. K.에 의해 1895년에 처음으로 X-선을 발견되고, 1896년에 H. Becquerl에 의해 방사선 물질(α 선, β 선, γ 선)이 발견됨으로써 조사의 생화학적 효과에 대한 연구가 시작되었다.

1940년대에 들어서서 방사선 발생장치의 개발과 핵분열 연구의 진보로 식품처리에 필요한 양의 전리방사선을 경제적으로 획득할 수 있게 되었으며, 방사선발생장치인 전자가속장치가 개발되어 전에는 볼수 없었던 대량의 전리방사선이 적절한 가격으로 공급되기 시작하였다. 1950년대에는 여러 조사식품속에 있는 독성물질을 검출하기 위하여 미국 및 영국에서 동물실험이 수행되었다.

그 이후 방사선 조사 식품의 안전성을 증명할 방법이 개발되지 못하여 식품 방사선 조사에 대한 관심이 감소되어져 갔지만, 1960년대에 들어와 식중독 예방과 화학 첨가제의 식품 중 잔류에 대한 관심이 증가하면서 살균, 발아 지연 및 살충을 위한 저수준 방사선 사용이 활발히 연구되었다. 1960년대 중반에 이르러 미국 및 영국의 후생당국은 확립된 방법에 따라 조사된 식품은 건전하다고 선언하였지만, 같은 시기에 미국 식품의약품국(FDA)은 식품의 안전성을 증명하기 위해서는 더욱 엄밀한 증거가 필요하다고 주장하여 1968년 미육군의무감에서 신청한 베이컨의 조사허가를 취소하였다. 그래서 베이컨제품에 방사선 조사의 허가를 신청한 미국 육군은 감마선으로 멸균한 쇠고기의 안전성을 검토하기 위하여 방대한 연구를 시작하였으며, 또한 다른 나라에서도 조사식품의 안전성을 검출하는 실험이 필요하다고 제창되어 조사식품의 안전성에 관한 연구가 급속히 확대되어갔다.

1970년대에 WHO의 충고에 따라 FAO와 IAEA는 솔선하여 국제식품조사계

획을 수립하고, 24개국이 참가하여 조사된 소맥, 감자, 쌀, 향신료, 건조대추를 대상으로 동물실험을 실시하였다. 그 후 1976년에 감자(0.15K Gy이하), 소맥(1KGy이하), 파파야(1KGy), 딸기(3KGy), 닭고기(7KGy)의 조사를 무조건 승인하였다.

최종적으로 FAO/IAEA/WHO합동위원회는 1980년 제네바 회의에서 충분히 과학적으로 만족할 수 있는 정보가 확보되었다고 판단하여 “총평균선량 10kGy이하의 감마선을 조사한 어떠한 식품도 독성이 없다. 따라서 10kGy 이하로 조사된 식품의 독성실험은 이 이상 행할 필요가 없다.” 라고 결론짓었다. 또한 10kGy이하의 총체평균선량을 조사한 식품은 특별히 영양학적 문제라든가 미생물학적 문제도 없다는 결론을 내렸다.

마침내 미국 FDA도 1986년에 방사선 조사에 대한 규정을 개정하여 일부 식품의 조사처리가 허가 되어 시판되기에 이르렀다.

1992년 5월 20일~5월 22일 제네바회에서는 다음과 같은 결론이 나왔다. 설정된 모범제조규범에 따라 조사처리된 식품은 하기와 같은 이유로, 안전하고 영양학적으로 적절하다고 판단된다. 첫째, 감마선 조사는 독성학적 측면에서 인간의 건강에 악영향을 미칠 수 있는 어떠한 식품성분의 변화도 초래하지 않는다. 둘째, 감마선 조사는 소비자에게 미생물학적 위험을 증가시킬 수 있는 어떠한 식품의 미생물학적 변화도 초래하지 않는다. 셋째 감마선 조사는 영양학적 측면에서 개별인간 또는 특정 집단의 영양적 상태에 악영향을 미칠 수 있는 어떠한 식품성분의 영양적 손실도 초래하지 않는다.

국제미생물 연합의 국제 식품미생물학회 및 국제 미생물위원회와 EC식품과학위원회도 FAO/IAEA/WHO합동위원회에서 맺어진 결론을 승인하였으며, 또한 Codex 국제식품규격위원회에서도 이상의 결론을 수용하면서 “Codex General Standard for Irradiated Foods”를 채택하여 회원국들의 활용을 권고한 바 있다. 이상과 같이 식품조사에 대한 국제기구의 적극적인 입장은 인류에게 식품에 기인된 질병예방, 식량의 이용률 증대 등

의 현실적인 혜택을 가져다 줄 수 있는 방안이라는 평가에서 비롯되었다고 볼 수 있다.

나. 방사선 조사

1) 정의

방사선이라함은 방사성핵종의 붕괴에 따라 방출되는 α 선· β 선· γ 선을 가리키지만, 넓은 뜻에서 원자핵이 관여하는 각종 반응에 의해서 생기는 입자선이나 전자기파도 여기에 포함시키는 일이 있다. 이를 식품에 쬐이면 강력한 전자파에너지로 인해 살균이 되고, 또한 생물적인 변화를 억제시킨다.

이의 생화학적 작용원리는 DNA에 영향을 주거나 DNA를 공격하는 radical이나 이온의 형성을 통해 식품속의 살아있는 세포의 유전물질을 부분적으로 또는 전체적으로 불활성화시키는 것이다.

2) 특성

방사선에 공통인 성질로서는 전리작용·사진작용·형광작용이 특징적이며, α 선은 원자핵에서 방출되는 방사선으로 헬륨원자로 구성되어있고, 투과성이 0.1cm로 대단히 약하며, 어떤 물질에 부딪치면 즉시 에너지를 상실하게 된다. β 선은 원자핵 속에서 나오는 고에너지 전자흐름으로서 물질의 내부에 2cm정도 침투가 가능하다. 표면살균 목적에 적합하며 이온화력이 커 살균효과도 크다.

γ 선은 α 선, β 선과 달리 파장이 극히 짧은(1~0.01Å) 전자파이며, 투과력이 강하여 식품의 심부를 조사할수 있고 통조림처럼 포장된 상태로도 처리가 가능하다. X선은 식품에 대한 조사효과가 크지 못하고, 과조사시 식품에서 이취, 변색등이 심하여 현재로는 이용하지 않고 있다.

3) 선원과 선량

선원은 Co^{60} , Cs^{137} 이 이용되고 있으며, Co^{60} 은 붕괴되어 비방사능성의 니켈로 되어 장기간 방사능 폐기물로 남지 않는다. 베크렐(Bq=becquerel)은 방사능의 단위로서 초당 1개 방사능 원소가 붕괴하는 것을 의미한다.

방사선의 흡수 선량은 현재 그레이(Gray=Gy)단위를 사용하는데 초기에는 래드(rad : 1Gy=100rad)가 사용되었으며, 10KGy는 대단히 작은 에너지로서 물의 온도를 2.4℃상승시키는데 필요한 열량을 말한다. 곡물의 해충방제에 필요한 선량(0.5kGy이하)에서는 화학변화를 검출할 수 없고, 멸균에 필요한 선량(30kGy)과 같은 고선량에 있어서는 많은 화학변화가 일어난다.

다. 조사의 장·단점

1) 장점

식품조사가 우리에게 주는 유익은 첫째, 병원성 미생물을 사멸시키기 때문에 더욱 안전한 식품을 생산할 수 있어 위생적 품질을 보장해 준다. 둘째, 채소와 과일의 발아, 완숙, 노숙을 방지하여 유통 기한을 연장시킬 수 있다. 셋째, 훈증제로 사용되어 온 methyl bromide, ethylene dibromide, ethylene oxide등의 화학물질의 사용대신 방사선 조사를 대체하여 이용하므로 식품에의 잔류물 독성문제를 피할 수 있다. 넷째, 품질향상을 초래하기도 하는데, 그 예로 밀가루의 성질 개선이나 과일의 건조속도가 빨라지는 것을 들 수 있고, 또한 건조 채소에 있어서 재수화가 잘 된다. 다섯째, 포장식품과 냉동식품에 간편하게 조사할 수 있으며, 식품을 가열처리하지 않으므로 관능적 특성에 변화가 거의 없다. 여섯째, 곤충오염을 차단할 수 있기 때문에 식품 국제 교역에 효과적으로 사용할 수 있다. 또한 에너지 요구량이 매우 낮고 식품의 영양가 손실이

다른 식품보존방법과 비슷하며, 공정의 자동화와 낮은 인건비등을 들 수 있다.

2) 단점

상기한 장점들이 있는 반면 문제점들도 지적되고 있다. 첫째, 미생물과는 달리 세균의 포자나 치사율이 높은 보트리리움같은 식중독균은 조사에 의하여 완전히 멸균되지 않고, 이미 생성되어 있는 독소가 존재하면 식중독 문제를 야기할 수 있다. 둘째, 부패가 발생되었을 때에는 조사하여도 건전한 식품으로 만들수 없다. 셋째, 방사선 조사는 특이한 풍미를 발생시켜 식품냄새에 영향을 끼치기도하며, 이 영향의 정도는 주로 식품의 종류, 선량, 조사시의 온도 등의 요인에 의존한다. 멸균에 필요한 고선량 조사시 육류속에서 바람직하지 않는 냄새의 변화가 일어난다. 이 변화는 육류의 지방 부분보다도 적색육 부분에서 많이 발생되는데, 적색육이 많은 소고기가 돈육보다 조사시 불쾌한 냄새를 더 많이 내게 된다. 그러나 이러한 신선근육 식품에서의 방사선 조사취는 대부분의 경우에 요리후에는 감소, 제거되는 것으로 보고된다. 넷째, 육류를 조사하였을 때 색이 변할 가능성이 있는데, 조사하는 식품의 종류에 따라 다르나 공기중에서 육류를 1.5kGy 조사하면 갈변이 발생한다. 다섯째, 식량문제 및 식품 저장문제가 훨씬 심각한 저개발국가나 개발도상국가에서는 방사선 조사시설을 설치하는 것이 상당한 경제적 부담이 된다. 여섯째, 방사선 조사를 받은 식품을 구별해낼 일반적 검사 방법이 아직 확립되어 있지 않아 어떤 식품이 방사선 조사 처리를 받았는지 혹은 얼마나 받았는지를 확인하는 방법이 없다는 것이다.

라. 소비자 이해

1) 소비자 인식

식품조사는 아직까지 각국정부가 조사식품에 대한 소비자의 이해촉진에 소극적이기 때문에 적극적으로 이용되지 못하고 있는 실정이다. 식품조사의 실용화는 선진국뿐만 아니라 개발도상국에 있어서도 국민의 이해가 필요하다.

공인 기관의 안전성 승인 여부를 떠나 소비자들의 수용 여부는 다소의 차이가 있다. 방사선에 대한 많은 선입견에 의한 거부 반응이 있는 반면, 그와는 반대로 관능적으로 우수한 제품에 대해 선호도가 높아 판매가 상승되는 상반된 반응이 나오기도 하였다.

조사에 대해 수용적 태도를 지닌 그룹은 생활 수준이 높고, 식품에 대한 화학 물질 사용에 관심이 많은 사람, 공식적 교육을 더 많이 받은 사람, 여성 등이었고, 조사에 대해 거부하는 사람은 자연적, 가공되지 않은 것, 유기적 식품이 바람직하다고 생각하는 사람이었지만, 아직 인구의 절반은 아직 미결정 상태로 조사에 대한 지식과 이해에 대해 확신하지 못하고 있다.

조사에 대한 반응에서, 과학자는 FDA 승인 조사 식품을 안전한 것으로 보고, 식품산업계에서는 소비자의 불확실성 때문에 채택을 망설이며, 소비자는 정보를 원하고 있다.

2) 시험 판매(Market Testing)

식품조사에 대한 국내외 소비자들의 인식도 조사 결과와는 달리, 지금까지 20여개국에서 실시된 조사식품에 대한 40여회의 시험시판과 상업적 판매에서는 전체적으로 58%의 시험에서 소비자들은 방사선 처리보다는 처리식품의 품질에 더 관심을 보였고, 42%의 시험에서는 소비자들이 조사식품에 대해 재 구매의사를 나타내었다. 특히 어떠한 시험에서도 소비자들이 조사식품의 구매를 거부하게 될 것이라는 결론은 나오지 않았다.

이러한 결과는 Bruhn 등의 조사된 papaya의 소비자 수용성 조사에서 65-80%가 조사된 papaya를 선택했다는 결과나, Yuthapon 등의 조사된

ham(효소 pork sausage)의 소비자 수용성 조사에서 65.9%가 nham의 안전성을 믿고 구입하겠다고 했으며, 94.9%가 조사된 nham을 다시 구입할 계획이라고 응답한 결과와 유사한 경향을 나타내었다

또한 소비자들은 조사하지 않은 딸기에 비해 9 : 1정도로 구매선호도를 보였다. 특히, 미국 Florida의 식품조사시설에서는 1992년 1월부터 양파, 토마토, 딸기, 오렌지쥬스 등의 신선농산물을 대상으로 사업적 조사가 계속되어 조사 식품의 시장이 확대되고 있다.

마. 방사선 조사의 전망

조사식품을 특별히 표시할 필요가 없다는 견해도 있는데 이런 비밀주의는 식품조사의 발전에 도움이 되지 못한다. 식품조사를 개시하든가 발전을 원하는 나라에서는 식품조사의 실시와 관계되는 모든 단계에 소비자가 참가할 수 있게끔 노력하여야 하고 소비자에 대한 정보제공과 교육을 실시하는 것이 중요하다. 조사식품의 수용이 증가되는 것은 선택적인 기술의 안전성, 산업계에서의 잠재적 성공 인식, 책임있는 매체 보도, 소비자 정보에 달려 있다.

바. 식품에의 이용

식품의 안정성이라든가 품질을 향상시키기 위한 감마선의 이용법에 관한 몇가지를 다음에 설명한다. 여기에서 열거한 것은 각국에서 산업적 또는 실험적으로 실제 활용 또는 허가하고 있는 식품조사에 실예인 것이다.

1) 발아의 억제

저선량의 감마선을 조사하면 감자, 고구마, 양파, 마늘, 생강, 밤 등의

발아가 억제된다. 감자 또는 고구마의 발아억제에 필요한 선량은 0.08~0.14kGy이며, 양파, 사탕, 마늘의 발아억제에 필요한 선량은 0.03~0.12kGy이다. 생강의 경우 0.04~0.10kGy, 밤의 경우 약 0.20kGy로서 이들 선량범위에 있어서의 적절한 선량은 이들 농산물의 품질 등 특성에 따라 차이가 있다.

일본에서는 연간 15,000톤 이상의 감자가 감마선 조사되어 생감자로 유통되고 있다. 감마선 조사는 저장중의 양파, 마늘의 발아를 억제하면서 바람직스러운 품질을 유지하는데 효과가 좋다. 양파, 마늘의 조사는 동독, 헝가리 등에서 실용화되고 있으며 아르헨티나, 방글라데시, 칠레, 이스라엘, 필리핀, 태국, 우루과이 등지에서 연구용 시설 규모로 조사한 감자, 양파, 마늘 등이 팔리고 있다.

맥아제조중의 대맥의 발아억제는 경제적으로 대단히 중요하다. 공기로 건조한 대맥에 에 0.25~0.5kGy의 감마선을 조사하면 발아를 예방할 수는 없으나, 근의 성장을 현저하게 지연시킬 수 있다. 이와 같이하여 뿌리의 성장에 의한 손실을 감소시킴과 동시에 고품질의 맥아를 얻을 수 있다. 이와 같은 감마선의 효과는 7개월 이상 유지되기 때문에 감마선 조사는 대맥을 저장하기 전에 처리할 수가 있어 이와 같은 처리에서는 뿌리의 성장을 억제하는 이외에 해충을 구충한다는 이점도 있다. 극히 소량(0.01~0.10kGy)의 감마선량을 대맥에 조사하면 발아가 촉진되어 맥아 제조 기간을 단축하여 대맥의 맥아생산능력을 향상시킬 수 있다.

2) 해충제거

비교적 저선량(0.05kGy 이하)의 감마선은 유충난을 포함하여 모든 경우의 저장해충을 살충하든가 불임화 한다. 건조한 과실, 야채, 땅콩 등은 해충에 의한 피해를 받기 쉽고 이들 식품, 특히 과실은 감마선조사 이외의 화학적물리적인 수단에 의하여 살충 하기가 어렵다. 해충에 의한 재오염이 방지될 수 있게끔 포장하여 0.02~0.7kGy를 조사하므로써 건조한

과실, 야채, 팥콩 등의 해충에 관계되는 문제는 해결할 수가 있다. 이와 같은 감마선조사에 의하여 많은 도상국에 있어 중요한 단백질 자원인 건조어의 손실을 크게 감소시킬 수 있다. 과실의 해충중 망고의 씨앗에 깊게 잠입한 바구미는 감마선조사에 의하여 억제할 수가 있다. 감마선 살충은 소련에서 대규모로 실시되고 있으며 1980년에 Odessa항구에 수입 곡물의 전자선조사시설의 가동이 개시되었다.

3) 부패식품의 보존성 연장

식품조사의 주요요한 이용법의 하나는 식품의 부패라든가 변질을 일으키는 미생물의 멸균에 있다. 미생물을 억제한다든가 완전히 없애는데 필요한 선량은 대상이 되는 미생물의 감마선감수성과 식품의 미생물오염의 정도에 따라 결정된다. 많은 과실, 야채, 육류, 닭고기, 해산물의 보존성 연장은 냉장과 저선량조사를 병용함으로써 크게 연장할 수가 있으며, 이와같은 처리를 하여도 맛과 향에 변화는 일어나지 않는다. 딸기, 망고, 파파야 등의 과실은 조사하여 시장에 출하하고 있으며, 매상도 아주 좋다. 강한 가열처리(뜨거운 물에 담그다)와 저선량조사 그리고 적절한 포장을 병용 시킴으로써 감마선에 jeo한 감수성이 높은 과실을 잘 처리할 수가 있다(식품조사 WHO 1988)

4) 과실 야채의 속도지연

어떤 종류의 과실이라든가 야채에 저선량의 감마선을 조사하면 속도가 지연되어 보존성이 연장된다. 이 현상은 감마선에 의한 미생물억제의 연구를 진행하는 과정에서 발견된 것으로서 조사에 의한 성숙지연의 정도라든가 조사에 의한 속도가 촉진되느냐 억제되느냐 하는 것은 선량이라든가 조사시의 성숙도에 따라 차이가 있다. 0.3~1.0kGy 조사함으로써 보존성의 연장이 명확히 관찰되었고 망고에서는 약 1주간 바나나에서는 2주간 보존성이 연장된다. 양송이라든가 아스파라가스의 성숙도 역시

1.0~1.5kGy 조사에 의하여 지연시킬 수 있다.

5) 식중독의 억제

미생물에 의하여 발생하는 식중독은 식품공업이라든가 식품서비스업에 있어서 점차적으로 중요한 문제로 대두되고 있다. 대부분의 국가가 식인성 질병, 특히 salmonellosis, campylobacteriosis, listeriosis 등에 의해 어려움을 겪고 있기 때문이다. 미국에서는 연간 650~3,300만건의 식인성 질병이 발생되고, salmonellosis의 경우만도 연간 2백만명의 환자가 발생되어 254,000만불의 경제적 손실이 초래된다고 한다. Salmonella, Campylobacter, Listeria, Yersinia 등의 식품중의 포자비생성병원균은 저선량으로 살균할 수가 있어 이와 같은 저선량조사는 이들 미생물에 의한 중대한 공중위생상의 문제를 해결하는데 대단히 유용한 것이다.

지금까지의 많은 경험에서 식품속에 바람직하지 않는 변화를 일으키지 않을 정도의 선량을 조사함으로써 쇠고기, 돈육, 어류 속의 포자비생성 병원균을 살균할 수 있음이 명확해졌다. 바람직하지 않은 변화를 일으키지 않고 냉동한 육류, 닭고기, 계란, 새우, 개구리다리 등의 내부의 병원균을 살균하기 위하여서는 2~7kGy의 선량으로 충분하다.

사. 방사선 조사의 실용화

현재 43개국이 식품의 방사선 조사를 허가하거나 금지하는 법규를 마련하고 있다. 이 중 37개국에서 한 품목 또는 수종의 식품에 대하여 방사선 조사를 허가하고 있다. 최근 조사 식품 허가와 관련된 국제적인 동향은 영국 정부가 1991년 향신료 등 식품에 대한 ethylene oxide의 사용을 금지하고 향신료 외 8가지 식품에 대하여 방사선 조사를 허가하였다. 1992년 미국 식품안전 및 검사국(FSIS)에서는 가금육에 대하여 식인성

질병 예방을 위하여 1.5~3kGy의 상업적 조사를 승인하였다.

감마선 조사는 건조식품소재의 미생물오염을 억제하는데 유효하고 건조식품소재를 원료로 한 식품의 안전성이라든가 저장성을 개선한다. 향신료, 건조야채, 향료, 전분, 농축단백 등의 식품산업용 효소제제는 부패균이라든가 병원균에 의하여 오염될 경우가 많고 3~10kGy의 감마선을 조사함으로써 향이라든가 식품성분조직에 나쁜 영향을 끼치지 않고 살균할 수가 있다.

기존의 식품의 살충, 살균 목적으로 주로 이용되어 오던 phosphine, methyl bromide, ethylene oxide, ethylene dibromide 등의 화학훈증제는 발암성 등 인체에 대한 유해성 때문에 사용이 점차 금지됨에 따라 (IAEA :Food Irradiation Newsletter, 11(2), 34(1987) 대체방안으로서 권장과 실용화 확대를 적극 추천하고 있다.

국내에서는 한국원자력연구소에서 대부분 수행된 연구결과를 바탕으로 근채류 식품을 비롯한 건조향신료 및 분말식품(총 18종)에 대하여 감마선조사가 허가된 바 있고('87, '88, '91), 상업용조사시설이 경기도 여주에 건설되어 가동중에 있다.

그러나 조사식품의 안전성에 대한 소비자들의 의구심 때문에 본격적인 실용화는 이루어지지 못하고 있는 실정이나 향신료 등에 대한 ethylene oxide의 사용이 금지된 이후(1991.7.1) 본 시설을 이용하는 업체의 수는 크게 증가되고 있다.

장기저장용의 우유, 유제품, 주스 등의 포장재를 15~25kGy의 감마선으로 조사하여 멸균하는 나라도 있다.

병원이라든가 치료를 위하여 면역력이 쇠퇴한 환자를 위한 식사의 감마선멸균이 서독, 네덜란드, 영국에서 허가되고 있다. 환자용식품의 종류, 기호성, 영양가는 가열성의 멸균 대신 감마선멸균으로하여 개선할 수도 있다.

이와 같은 식품조사의 이용은 우주비행사 및 요양시설에 있는 젊은이

또는 노인에게도 유용하다.

1993년에는 프랑스에서 냉동·냉장 새우, 난백, 카제인(가공품), 건조 과실에 대한 조사 허가와 치즈에 대하여 보통 살균공정 대신 감마선 조사(2kGy)를 낙농협동조합(ISIGNY)에게 자체 처리할 수 있도록 허가하였다. 1994년 9월에는 감마선 조사 닭고기가 소비자들에게 신속하게 판매되고 있다고 보고되고 있다.

미국 FDA에서는 1985년 돼지고기의 선모충 제거방법으로써 방사선조사(0.3~1.0 kGy)를 허가한 바 있고, 1990년에는 가금육에 대하여 Salmonella를 포함한 병원성 미생물의 제거방법으로써 방사선 조사(3kGy)를 추가로 허가하였으며(IAEA : IAEA Newsbriefs, 5(4), May(1990), Illinois에서는 감마선 닭고기(labelled Irradiation chicken)가 소비자들에게 신속히 판매되고 있다고 보고되고 있다. 캐나다, 프랑스, 네덜란드 등 주요 선진국에서도 가금육의 위생처리와 신선도 연장을 위하여 식품조사 기술의 이용을 추진하고 있다.

3. 재료 및 방법

가. 공시 재료

도살후 2~4℃에서 1일 저장된 반건양근(*semitendinosus*) 부위의 쇠고기 약 30kg을 도축장에서 구입하여 두께 2~3cm로 절단한 후 사용하였다. 감마선 조사 처리 하지 않은 대조구는 통기성 랩으로 접시포장하여 5℃에서 8일간 저장되었다. 방사선원 및 선종은 ⁶⁰Co와 γ -rays로 한국원자력연구소에서 조사하였다. 감마선 조사는 2시간 동안의 총 흡수 선량을 1.5kGy (시간당 선량을 0.753 kGy)와 3.0kGy (시간당 선량을 1.52 kGy) 두 수준으로 조사하고, 숙성 효과를 조사하기 위하여 각각의 감마선 조사 처리된 쇠고기는 5℃와 20℃로 나누어 저장되었고, 20℃에

서의 고온숙성은 35시간 동안 처리한 후 다시 5℃에 저장하여 고온숙성의 효과를 4반복하여 조사하였다.

나. 실험 방법

1) pH 측정

쇠고기 시료를 세절기로 갈은 후 10g을 증류수 100ml에 넣어 1.5분 동안 균질한 후 pH meter(SUNTEX, Model SP-5A, Taiwan)를 사용하여 측정하였다.

2) 연도(Tenderness) 측정

객관적인 방법에 의한 연도를 측정하기 위해서 쇠고기를 심부온도 70℃가 될 때까지 가열한 후, 2cm×2cm×2cm의 크기로 성형하여 Instron (Instron model 1000, England)으로 연도를 측정하였다. Probe는 Puncture probe (2830·005/015)를 사용하였고, Instron작동 조건은 Probe chuck Assembly는 2830·006, Range 50kg, Crosshead control 200 mm/min, Chart speed 10×10 mm/min이었다.

3) 색도(Color) 측정

육색은 Chroma meter (Minolta CR-210, Japan)를 사용하여 CIE L, a, b system (Commission International de l'Eclairage-International Commission on Illumination System)으로 L, a, b값을 측정하였다.

4) TBA(Thiobarbituric acid) Value 측정

TBA값은 Witte등(1970)의 방법을 약간 수정하여 측정하였다. 세절한 쇠고기 10g에 20% TCA용액 25 ml을 넣어 1.5분 동안 균질하였다. 이에 증류수를 첨가하여 총 부피를 50 ml을 만들어 여과(Whatman filter

paper #1)한 후 이 여액 5ml와 TBA(0.005M 2-thiobarbituric acid)용액 5ml를 혼합하여 15시간 동안 암냉소에 방치한 후 흡광 광도계(Shimadzu UV160, Japan)로 530nm에서 흡광도를 측정하였다.

5) 총균수 측정

총균수의 측정은 쇠고기 표면에 멸균된 Template (2.5cm x 4cm)를 대고 멸균된 면봉으로 가로 10회, 세로 10회 문지른 후, 멸균된 0.1% Peptone(DIFCO Laboratories, USA)수 10ml에 면봉을 넣어 vortex mixer로 균질화시킨 액을 희석하였다. 배지는 plate count agar(DIFCO Laboratories, USA)를 사용하였고 30~300개의 군락(colony)을 형성한 것만 선택하여 총균수를 측정하였다.

6) 관능 검사

관능 검사는 5종류 시료 [대조구(5℃), 1.5kGy(5℃, 20℃), 3.0kGy(5℃, 20℃)]의 풍미, 연도, 다즙성, 종합적 기호도를 5명의 관능검사원이 저장 중 0, 2, 4, 6, 8일에 각각 측정하였다. 또한 신선육의 육색도 관능검사원에 의해 평가되었다. 시료는 3cm×2cm×2cm크기로 절단한 후, 심부온도 70℃까지 조리하여 관능검사원들에게 제공되었다. 관능검사는 10점법으로 평가되었는데, 육색과 풍미에서 1점은 매우 나쁨, 10점은 매우 좋음이었다. 연도에 있어서는 1점이 매우질감, 10점이 매우연함이었으며, 다즙성의 경우 1점이 매우 건조함, 10점이 매우 다즙함이었다.

7) 통계분석

통계분석은 Duncan의 다중검정법으로 5% 수준으로 처리구간의 유의성을 검정하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 저장중 pH의 변화

저장온도별, 조사선량별 쇠고기의 저장기간의 경과에 따른 pH변화는 표 1에 나타나 있다. 저장기간중의 pH변화는 모든 시료에서 도살후 감소 추세를 보이다가 저장 4일경부터 pH가 서서히 증가하는 경향을 나타내었다. 감마선 조사구와 대조구의 저장온도별 pH는 약간의 차이가 있었으나 유의성은 인정되지 않았다. 감마선 조사는 시료의 pH에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Dessouki(1978)가 소배최장근을 4℃의 냉장온도에서 보관할때 사후강직의 시작으로 pH가 감소하였으나, 그 이후에는 증가하였다는 보고 내용과 Hamm(1974)이 쇠고기 숙성 1일의 pH가 5.6에서 7일간의 pH가 5.75로 숙성기간이 경과할 수록 육의 pH는 다소 상승한다는 보고와 일치하고, Lee등(1996)은 2℃와 30℃의 숙성육의 경우 pH는 숙성 온도와는 관계없이 7일까지는 차이가 없었으나 방사선 조사후 30℃에서 숙성육의 경우 14일 저장후 pH는 가장 낮았는데 이는 7일 이후에 젖산균의 성장 때문이라는 보고와 유사한 경향을 나타내었다.

Table 1. Changes of pH values of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without irradiation treatment stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	6.00	6.59	5.90	6.10	6.10
2	5.73	5.90	6.13	5.91	5.94
4	5.95	5.73	5.48	5.48	5.57
6	5.97	5.85	5.93	5.93	5.77
8	6.08	6.15	6.11	6.11	6.20

나. 전단력의 변화

대조구와 감마선 조사후 숙성온도에 따른 쇠고기의 전단력 변화를 객관적인 분석에 의한 결과는 표2에, 연도에 대한 관능 평가 결과는 표3에 나타나 있다. 20℃에서 저장한 쇠고기 시료를 제외하고 5℃에서 저장한 모든 처리구에서 저장 기간 2일째는 전단력이 증가하다가 저장기간에 따라 전단력이 감소하는 경향을 보였다. 이는 20℃에서 저장한 쇠고기는 5℃에서 저장한 처리구보다 사후강직이 먼저 끝나 2일째에는 고온숙성효과를 나타냈기 때문으로 사료된다. 대조구와 1.5kGy로 감마선 조사후 5℃에서 저장한 쇠고기의 전단력은 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다 ($p>0.05$). 그러나 감마선 조사한 처리구 중 20℃에서 저장한 쇠고기 모두 유의성 있게($p<0.05$) 낮은 전단력을 나타내었다. 이러한 결과는 방사선 조사의 효과보다는 고온숙성이 연도에 영향을 미칠 수 있다는 것을 암시하고 있다. Niemand 등(1981)과 Heath 등(1990)은 감마선 조사가

연도에 대한 효과는 없다고 보고하였고, Dransfield(1994)도 우육의 연도는 고온저장과 사후강직의 축진에 의하여 증가한다는 보고하여 본 연구의 결과와 유사하였다. 고온 숙성육의 연도 증진 효과에 대해서는 고기의 숙성은 주로 근육내의 단백질분해효소 Calpain과 Cathepsin이 사후 근육의 온도와 pH조건에 따라 그 활력이 영향을 받아 이루어지는 것으로 알려져 있는데 근육의 pH가 6.0 이하일 경우에는 Cathepsin이 Calpain보다 연화에 더욱 효과적인 것으로 보고되고 있다(Etherington 등, 1987). Tornberg와 Larsson(1986)은 도체의 온도가 높을수록 Lysosomal 효소가 보다 쉽게 유리되어 연화를 촉진시킨다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 사후 근육의 저장온도가 높을수록 효소 활력이 높아져 고온숙성육의 전단력이 낮은 것으로 사료된다.

감마선 조사후 연도 개선 효과에 대해 Wilson등 (1960)은 항생제와 함께 0.45 - 0.5 kGy수준을 이용하여 강직 후의 Round steak를 43.5℃에서 1일 혹은 32℃에서 2일간 숙성하여 2 ~ 3℃에서 14일간 숙성시킨 고기의 연도를 달성하였다. Snyder (1973)은 온도체를 43.3℃에서 8시간 숙성시킨 후 2 ~ 4시간 내에 4℃로 냉각시켜 스테이크로 절단한 후 0.85 kGy수준의 방사선 조사로 살균시켜 전통적으로 숙성시킨 쇠고기의 연도를 생산하였으며, Dessouki등 (1978)은 소등심근을 polyethylene bag으로 포장한 후 5 kGy로 처리하여 45℃에서 숙성시켰을 때 1일 후에 연화가 충분히 이루어졌다는 보고와 본 실험은 비슷한 경향이었다.

관능 검사에 의한 연도는 대조구에 비해 2일째 고온숙성육에서 좋은 결과를 나타내고 있어 전단력의 변화와 유사한 결과를 나타내었고, 처리구 사이에 특별한 변화를 보이지 않는 경향이었다. 이는 관능검사요원이 숙성 초기 2일까지는 구별할 수 있으나 그 이후에는 처리구 모두 숙성이 진행되어 구별하지 못하것으로 사료된다. 따라서 본 실험의 결과 감마선 조사후 고온숙성육은 2일째 전단력이 우수하여 저온 숙성을 위한 언저 및 인건비를 절감할 수 있는 방법이라 사료된다.

Table 2. Shear force values (kg) of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without irradiation treatment stored for 8 days at different temperatures.

Days	Non-irradiated 5°C	Irradiated			
		1.5kGy-5°C	1.5kGy-20°C	3.0kGy-5°C	3.0kGy-20°C
0	1.50 ^a	1.50 ^a	1.50 ^a	1.50 ^a	1.50 ^a
2	1.98 ^a	2.42 ^b	1.47 ^c	2.32 ^b	1.20 ^c
4	1.60 ^a	1.82 ^a	1.22 ^b	1.75 ^a	1.20 ^b
6	1.60 ^a	1.23 ^b	1.57 ^a	1.43 ^a	1.05 ^b
8	1.45 ^a	2.05 ^b	1.53 ^a	1.48 ^a	1.35 ^a

^{a, b, c} Values with different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$).

Table 3. Effect of irradiation treatment and storage temperature on sensory tenderness score of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5°C	Irradiated			
		1.5kGy-5°C	1.5kGy-20°C	3.0kGy-5°C	3.0kGy-20°C
0	6.4 ^a	4.6 ^b	6.4 ^a	4.6 ^b	6.4 ^a
2	6.2 ^a	6.0 ^a	7.4 ^b	6.4 ^a	7.4 ^b
4	6.4 ^a	6.2 ^a	6.4 ^a	6.2 ^a	6.6 ^a
6	6.8 ^a	6.8 ^a	6.0 ^a	6.4 ^a	6.6 ^a
8	5.8 ^a	5.4 ^a	5.4 ^a	5.6 ^a	5.2 ^a

^{a, b, c} Values with different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$).

(1= very tough, 10= very tender)

다. 육색의 변화

감마선 조사와 고온숙성이 육색에 미치는 효과중 색도측정기에 의한 객관적인 평가 결과는 표4에 관능 평가에 의한 주관적인 평가 결과는 표5에 나타나 있다. 두 가지 평가 방법 모두 저장 기간이 경과할수록 육색은 전반적으로 어두워지는 경향을 나타내었다. 즉, L값(lightness)은 저장 2일에는 오히려 밝아지다가 저장 6일 이후에는 급격히 감소하여 어둡게 변화하였다. 이는 저장 2일까지는 산소화(oxygenation)에 의하여 밝은 빛을 띄고, 6일 이후부터는 육색소의 산화가 이루어진 것으로 사료된다. a값(redness)도 저장 기간의 경과에 따라 감소하였고, 6일 이후에는 크게 감소하였다. 그러나 방사선 조사구도 5℃에서 저장한 처리구는 저장 기간에 따라 L값과 a값의 차이가 크지 않았다. 따라서 방사선 조사선량에 따른 차이보다는 고온숙성 따른 육색의 변색 효과가 큰 것으로 사료된다. b값(yellowness)은 저장 기간의 경과에 따라 약간 감소하고 고온 숙성육이 대조구보다 낮은 경향이었으나 일관성 있는 결과를 나타내지 못하였다. 관능 평가에서는 저장 기간의 경과에 따라 전반적으로 점수의 감소를 보이며, 감마선 조사구중 고온 숙성한 쇠고기는 대조구나 방사선 조사 후 5℃에서 저장한 쇠고기보다 점수가 낮은 것으로 나타나 색도측정기에 의한 객관적인 평가 결과와 일치하였다.

Dempster 등(1985)은 신선육이나 방사선 조사육에서 저장기간의 경과에 따라 L값은 커지고 육은 창백하게 되었으며 a값은 감소하였고 저장기간의 경과에 따라 대조구나 방사선조사구 모두 점차적으로 더 변색이 된다는 보고와 본 실험의 결과는 일치하였다. Dessouki(1978)는 저장기간의 경과에 따라 적색은 계속적으로 감소하고 신선육에서 방사선 조사는 산화에 의해 Met Mb이 형성되며, 저장기간동안 Milliard 반응은 방사선 조사 우육의 변색의 원인이 된다고 하였으나 본 실험의 결과와는 다른 경향이였다. Field 등 (1976)은 16℃에서 12시간 동안 고온 숙성한 쇠고기의 육

색이 냉각 도체보다 더 밝은 색을 나타내었다고 보고하였다. 그러나 Locker(1975)은 냉도체 처리한 시험구는 근육 내외의 육색차이가 있었으나 고온 숙성한 쇠고기는 차이가 없다고 보고하였다. Ginger 등(1955)은 우육을 상온 및 산소 존재 하에서 방사선 조사하면 심한 변색을 가져온다는 Met Mb 형성에 의한 갈변과 청색 화합물인 porphyrin이 변성되기 때문이며, 저장 기간의 경과에 따라 점점 더 변색이 된다는 보고를 인용하면 본 실험의 결과로 보아 쇠고기의 육색은 방사선 조사 처리보다는 숙성 온도와 산소의 존재 유무에 따라 더욱 영향을 받을 것으로 사료된다.

Table 4. Changes of color(L, a, b) values of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without irradiation treatment stored for 8 days at different temperatures

Days		Non-irradiated	Irradiated			
		5°C	1.5kGy-5°C	1.5kGy-20°C	3.0kGy-5°C	3.0kGy-20°C
0	L	39.40 ^a	40.70 ^a	40.70 ^a	40.00 ^a	40.00 ^a
	a	23.08 ^a	23.50 ^a	23.50 ^a	22.62 ^a	23.62 ^a
	b	10.85 ^a	10.60 ^a	10.60 ^a	9.61 ^a	9.61 ^a
2	L	40.85 ^a	42.18 ^a	38.46 ^b	41.42 ^a	38.97 ^b
	a	22.71 ^a	25.03 ^a	21.06 ^b	23.26 ^a	20.49 ^b
	b	10.51 ^a	11.57 ^a	9.59 ^a	10.90 ^a	9.36 ^b
4	L	39.45 ^a	40.25 ^a	38.54 ^b	41.85 ^a	39.99 ^a
	a	23.25 ^a	24.73 ^a	22.90 ^a	21.66 ^a	22.11 ^a
	b	11.21 ^a	11.55 ^a	8.08 ^b	10.77 ^a	10.24 ^a
6	L	41.00 ^a	42.18 ^a	37.70 ^b	42.22 ^a	39.43 ^b
	a	27.18 ^a	22.98 ^b	22.84 ^c	20.84 ^b	24.47 ^c
	b	10.17 ^a	11.32 ^a	6.53 ^b	10.61 ^a	9.24 ^a
8	L	37.84 ^a	39.91 ^a	38.33 ^a	41.27 ^a	38.78 ^a
	a	13.20 ^a	23.79 ^b	15.74 ^a	18.40 ^b	16.38 ^a
	b	7.21 ^a	11.76 ^b	4.97 ^c	9.55 ^a	8.94 ^a

a, b, c Values with different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$).

(L= lightness, a=redness, b=yellowness)

Table 5. Effect of irradiation treatment on and storage temperature sensory color score of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	8.2 ^a	7.2 ^b	7.2 ^b	7.0 ^b	7.0 ^b
2	7.8 ^a	7.2 ^b	6.4 ^c	6.8 ^b	6.2 ^c
4	7.4 ^a	7.4 ^a	6.6 ^b	5.6 ^b	5.4 ^b
6	7.8 ^a	6.2 ^b	4.8 ^c	5.4 ^b	5.0 ^c
8	5.0 ^a	5.6 ^a	3.2 ^b	5.0 ^a	3.2 ^b

^{a, b, c} Values with different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$).

라. TBA의 변화

감마선 조사와 고온숙성육의 TBA를 측정한 결과는 표6에 나타내었다. 모든 처리구에서 TBA는 저장 기간의 경과에 따라 증가하였고, 대조구보다 감마선 조사구에서 높았으며, 감마선 조사후 20℃에서 저장구가 다른 처리구에 비해 가장 높은 결과를 나타내었으며, 모든 처리구에서 거의 직선적으로 증가하는 경향이였다. Demeyer 등(1974)은 육의 숙성기간중에 지방은 지방분해효소에 의해 가수분해적 변화와 미생물 대사에 의한 산화적 변화가 일어나면서 carbonyl complex, alcohol, ketone, aldehyde등의 부산물로 분해되어 저장 기간이 경과함에 따라 TBA가 증가하며, El-Wakeil 등(1978)이 5, 10, 15kGy의 감마선 조사로 TBA는 감마선조사구는 대조구에 비해 선량의 증가와 저장 기간의 경과에 따라 증가하였다는 보고와 본 실험도 같은 결과이였다. 방사선 조사후 숙성 온도에 따른 보고로는 Dessoki(1978) 지방산화의 지표인 TBA는 저장 기간의 경과

에 따라 점진적으로 증가하고 방사선 조사후 45℃숙성육의 TBA는 대조구에 비해 상당히 높았다는 보고와 본 실험의 결과는 일치하였다. 그러나 Lee 등(1996)은 방사선 조사구에 비해 비조사구는 저장 초기의 TBA가 가장 낮았으나 빠르게 증가하여 14일에 가장 높았다는 보고와는 본 실험의 결과는 다른 경향이였다. 이와 같은 차이는 Lee 등(1996)은 진공 포장하였고, 본 실험은 접시 포장하여 산소가 완전히 제거되지 않았기 때문에 지방 산화를 촉진하게 되므로 감마선 조사와 숙성기간동안 산소를 제거한다면 높은 TBA가는 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

일반적으로 에너지원의 일종인 감마선 조사에 따라 지방 산화율도 빨라지는 것으로 나타나고 TBA가는 온도가 증가할수록 반응이 빨라지는데 본 실험의 결과로 볼 때 저수준 감마선 조사보다는 고온 숙성이 TBA가에 더욱 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 6. Changes of TBA values (ppm) of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without irradiation treatment stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	1.040	1.036	1.036	1.036	1.036
2	0.516	0.699	0.981	0.641	1.354
4	0.548	0.851	1.212	0.627	1.281
6	0.763	1.196	1.343	1.212	2.044
8	0.622	1.033	3.191	1.286	1.977

^{a, b} Values with different letters in each row are significantly different (p<0.05).

마. 총 세균수의 변화

저장온도별, 조사선량별 쇠고기의 저장기간의 경과에 따른 미생물수의 변화는 표7에 나타나 있다. 대조구는 8일간의 냉장 저장중 미생물 수는 7.3×10^2 에서 2.7×10^4 까지 증가하였고, 1.5kGy 또는 3.0kGy의 조사후 8일간 냉장 저장한 쇠고기 시료의 경우 6.0×10^1 과 1.2×10^2 으로 저장중 매우 낮은 수를 유지하였다. 그러나 1.5kGy의 조사후 고온숙성한 다음 8일간 냉장저장한 경우 4.0×10^6 으로, 비교적 높은 미생물수를 나타내었다. 3.0kGy 선량에서 조사한 후 고온 숙성한 경우에는 6.9×10^2 으로 비교적 낮은 세균수를 유지하였다. 총세균수에 대한 방사선 조사후 저장기간의 경과에 따른 경시적인 연구 결과는 Niemand 등(1981)은 2kGy로 우육에 방사선 조사 결과 총 세균수는 대조구에 비하여 조사구에서 적었으며 저장 기간의 경과에 따라 모든 처리구에서 서서히 증가하였으며 방사선 조사후 미생물수의 증가는 대부분 젖산균의 증가라고 보고하였다. Dempster 등(1985)이 감마선을 1.03과 1.54kGy를 조사한 쇠고기burger의 총 세균수를 82%와 92% 감소시켜 방사선 처리구간에 유의성이 있다고 보고하였다. ($P < 0.001$).

따라서 본 실험의 결과 우리 나라의 도축장 위생수준에서는 고온숙성을 위한 방사선 조사는 3.0kGy에서 효과적이며, 미생물 성장 억제 목적으로 신선 냉장육을 방사선 조사할 경우에는 1.5kGy의 저수준에서도 8일 이상의 유통기한 연장 가능성을 나타내었다.

Table 7. Changes of total bacterial counts of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without irradiation treatment stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	7.3×10^2	6.0×10^1	-	2.6×10^1	-
2	2.5×10^2	6.0×10^1	2.0×10^3	1.0×10^1	-
4	9.2×10^2	9.0×10^1	1.2×10^4	-	1.1×10^2
6	2.7×10^2	4.5×10^1	3.2×10^3	6.5×10^2	3.1×10^2
8	2.7×10^4	4.0×10^1	4.0×10^6	1.2×10^2	6.9×10^2

바. 풍미의 변화

감마선 처리와 고온숙성이 관능적 풍미에 미치는 효과는 표8에 나타나 있다. 대조구와 1.5kGy, 3.0kGy의 감마선 조사후 5℃와 20℃에서 숙성육 사이의 관능적 풍미 변화는 저장 기간의 경과에 따라 전반적으로 관능검사치의 감소를 나타내고 있으며, 방사선 조사 선량과 숙성 온도간에는 일관성있는 경향이나 특별한 변화를 나타내지 않았다.

Table 8. Effect of irradiation treatment and storage temperature on sensory flavor score of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	8.0 ^a	6.4 ^b	6.4 ^b	6.8 ^b	6.8 ^b
2	7.0 ^a	7.0 ^a	7.0 ^a	7.6 ^a	7.2 ^a
4	7.2 ^a	6.8 ^a	6.2 ^b	7.2 ^a	6.6 ^a
6	7.0 ^a	5.6 ^b	5.2 ^a	4.8 ^a	5.2 ^a
8	5.0 ^a	4.4 ^a	3.2 ^b	3.8 ^a	4.2 ^a

^{a, b} Values with different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$).

Hansen 등(1987)은 방사선 조사 결과로서 불쾌치가 발생한다고 보고하였고, Merrit 등(1975)은 이러한 바람직하지 못한 요인들은 방사선 조사 선량, 방사선 조사시의 발생되는 온도에 영향을 받는다고 보고하였지만, Rhodes와 Shepherd (1966)는 쇠고기에서 방사선 조사취를 느낄 수 있는 한계 선량이 4kGy 이상이라고 보고하였다. 본 연구에서는 3.0kGy이하의 저수준 감마선 조사처리 한것으로 관능요원에 의해 조사취를 감지하지 못한 것으로 사료된다.

사. 다즙성의 변화

저장온도별, 조사선량별 쇠고기의 저장기간의 경과에 따른 다즙성에 대한 관능 검사 결과는 표9에 나타나 있다. 다즙성에 대한 관능검사치는 전반적으로 대조구가 감마선 조사구나 고온숙성 처리구보다 다즙성이 우수하였으나 저장 2일을 제외하고는 모두 유의적인 차이는 없었다

($p > 0.05$). 방사선 조사구와 고온숙성 처리구는 일반적으로 서로 유사한 관능검사치를 나타내었다. 이러한 결과는 저수준의 감마선 조사와 쇠고기를 20℃에서 35시간 동안 숙성처리하는 것은 쇠고기의 다즙성에 특별한 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다.

Table 9. Effect of irradiation treatment and storage temperature on sensory juiciness score of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	7.4 ^a	7.2 ^a	6.8 ^a	7.2 ^a	6.8 ^a
2	6.8 ^a	6.0 ^b	6.0 ^b	5.8 ^b	6.0 ^b
4	6.6 ^a	6.6 ^a	5.8 ^a	6.0 ^a	5.6 ^a
6	5.8 ^a	5.2 ^a	4.8 ^a	5.2 ^a	5.0 ^a
8	4.8 ^a	4.6 ^a	4.6 ^a	4.8 ^a	4.6 ^a

^{a, b} Values with different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$).

아. 기호도의 변화

감마선 조사와 고온숙성이 고기의 관능적 기호도에 미치는 효과는 표10에 나타나 있다. 전반적으로 대조구와 감마선 조사구와의 기호도에는 뚜렷한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 1.5kGy나 3.0kGy의 조사선량과 20℃에서의 숙성은 관능 요인의 기호도에는 특별한 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 일반적으로 소비자들은 조사 식품에 대하여 심각한 거부현상을 나타내고 있으나 본 실험의 결과에 의하면 실제로 1.5kGy와 3.0kGy의 저수준에서 조사하였을 경우 조사취를 감지할 수

없었고, 저장 6일 및 8일을 제외하고는 종합적인 기호도에서 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 신선육의 색깔이 쇠고기의 종합적인 기호도 결정에 선입관을 줄 수 있는 요인으로 작용한 것으로 사료되었다.

Table 10. Effect of irradiation treatment and storage temperature on sensory total acceptability score of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef stored for 8 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	7.4 ^a	7.2 ^a	7.0 ^a	6.8 ^b	7.0 ^a
2	7.4 ^a	7.2 ^a	7.0 ^a	7.0 ^P	6.8 ^a
4	6.8 ^a	7.0 ^a	6.8 ^a	6.4 ^a	6.8 ^a
6	7.2 ^a	5.6 ^b	5.0 ^b	5.6 ^b	5.2 ^b
8	5.4 ^a	3.8 ^b	3.6 ^b	3.8 ^b	3.4 ^b

^{a, b} Values with different letters in each row are significantly different (p<0.05).

제 2 절 저 수준 전자선 조사 처리가 쇠고기 숙성에 미치는 효과

1. 서 론

일반적으로 쇠고기는 수분과 영양분 함량이 높아 미생물 번식에 적합한 조건을 가지고 있는 매우 상하기 쉬운 식품 중 하나이다. 쇠고기 신선육은 도축, 가공과정 중에 미생물 오염이 빈번히 일어나 국민 보건상 위해를 줄 수 있으며, 최근에는 쇠고기에 대장균 O-157:H7이나 *Listeria* 등 병원성 균의 검출사건으로 인한 사회문제뿐만 아니라 부패균에 의한 경제적 손실도 심각한 실정이다.

쇠고기 신선육의 위생 안전성을 높이기 위한 비열처리 가공 방법인 감마선 조사에 대한 연구는 1940년 이래 활발하게 진행되어 감마선 조사 처리에 대한 여러 가지 장점이 제시되었고(Lawrie, 1974; Dessouki 등, 1978; Niemand 등, 1981; Lebepe 등, 1990; Grant 와 Petterson, 1991; Thayer, 1993), 또한 1980년 조사된 식품의 안전성에 대한 FAO/IAEA/WHO 공동 전문가 위원회에서 10 kGy로 조사된 어떠한 식품도 독성학적, 영양학적, 미생물학적 측면에서 아무런 문제가 없다고 발표하였다(WHO, 1988). 특히, ^{60}Co 감마선은 침투력이 우수하고 균일하게 조사되어 크기, 형태, 밀도와 관계없이 다양한 제품에 발아억제, 살균, 멸균 등의 목적으로 광범위하게 적용되고 있다(Diehl, 1990). 1997년 미국 허드슨사의 햄버거에 의한 식중독 발병이 병원성 대장균의 오염에 의한 것으로 밝혀진 후 사상 최대 규모인 1천1백만kg의 쇠고기가 회수되는 사건이 발생되었다. 사건 발생 4개월후에 미국 식품의약품청(Food & Drug Administration)에서는 지금까지 가금육에만 허용하던 저 선량 방사선 조사 살균 처리를 쇠고기, 양고기, 돼지고기 등 적색 육류에 까지 확대 허용키로 결정하였다. 그러나 감마선 조사 처리된 식품의 안전성과 유

용성에 대한 과학적 검증에도 불구하고 대부분의 소비자들은 방사선 조사에 대한 올바른 정보를 가지고 있지 않으며(Urbain, 1989), 방사선 조사된 식품을 방사능이나 핵시설과 관련하여 인체에 위해하다고 판단하고 있다(Brahn와 Schutz, 1989).

따라서 방사선 동위원소를 사용하지 않고, 전자를 기계적으로 가속화시켜 조사하는 전자선 조사의 식품에 적용하는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하여 활용 범위가 제한되어 있으나, 감마선에 비해 신속한 처리 속도와 저렴한 가격 및 환경오염이 낮고, 방사능 물질을 사용하지 않는다는 것이 장점으로 부각되고 있다(Diehl, 1990). Brynjolfsson (1989)은 향후 방사능 동위원소에 의한 감마선 조사와 선형 전자 가속기에 의한 전자선 조사가 경쟁적으로 사용이 증대될 것이라고 보고하였다.

식육에 전자선 조사 처리를 하였을 때, 육색과 풍미에 바람직하지 않은 영향을 줄 수 있으나(Shamsuzzaman 등, 1992), 닭고기 흉심부위에 3.0 kGy 전자선 조사와 열처리를 하였을 때, 미생물 수준이 감소되어 8주간 저장 기간을 연장시킬 수 있다는 보고도 있다(Shamsuzzaman 등, 1995). 최근 외국의 경우 전자선 조사 처리를 식육에 적용하기 위한 연구가 다소 이루어져 있는 반면(Heath 등, 1990; Luchsinger 등, 1996; Lee 등, 1996), 우리나라에서는 저 수준 전자선 살균을 쇠고기 신선육에 적용한 실험이 아직 이루어지지 못한 실정이다. 따라서 본 연구는 소비자들이 기피 현상을 보이고 있는 방사성 동위원소를 사용하는 감마선 조사 처리의 대체 방법으로써, 저 수준 전자선 조사 처리가 고온 숙성 한우 육의 물리화학적 특성 및 미생물학적 특성에 미치는 효과를 파악하여 우리 나라 도축장의 위생 실정에 맞는 쇠고기 숙성법을 개발하고자 수행되었다.

2. 연구사

가. 조사형태와 선량단위

조사 형태는 원자와 분자에서 전자를 제거시켜 이온으로 변하게 하는 능력이 있기 때문에 이온화 방사선(ionizing radiations)이라 불린다. 이온화 방사선의 모든 형태가 식품조사에 적당한 것은 아니다. 이를테면, 조사시 알파입자는 충분히 깊숙하게 침투하지 못하고, 또는 고에너지 전자선과 X-선은 조사물질에 방사능을 만들기 때문이다.

방사선은 방사성 동위원소로부터 방출되는 α , β , γ -선 외에도 기계적으로 발생하는 X-선, 전자가속기에서 나오는 전자선(electron-beam), 원자로에서 만들 수 있는 중성자선 등이 있다.

지금까지 관련 국제 기구 즉, 국제연합식량농업기구(Food and Agriculture Organization : FAO), 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency : IAEA), 세계보건기구(World Health Organization : WHO)와 CODEX 식품 규격 위원회에서 식품 및 의료 제품의 조사에 안전하게 이용될 수 있다고 밝힌 방사선의 종류는 Table 1과 같다.

<Table 1. 식품 및 의료산업에서 이용될 수 있는 방사선의 종류>

방사선	선원	반감기	이용에너지
γ -선	^{60}Co	5.3년	1.17, 1.33
	^{137}Cs	30년	0.06
전자선	전자가속기에서 발생(10 MeV 이하)		
X-선	기계적으로 발생(5 MeV 이하)		

eV(electronvolt)는 전자와 다른 형태의 방사선 에너지를 측정하고 표

시하는데 사용되는 에너지 단위이다. 1 eV의 에너지는 1 volt의 전위차에 의해 가속화되기위해 전자가 요구하는 동력 에너지와 같다. eV는 매우 작은 에너지 단위이다. 그래서 보통 keV(kiloelectronvolt=1000eV) 또는 MeV(megaelectronvolt=1 million eV)로 말한다. eV를 에너지 단위로 변환시키기 위해서는 $1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-13} \text{ J(joule)}$ 로 환산하면 된다. 감마선과 X-선은 전자기장 스펙트럼, 저에너지, 장파장 라디오파에서부터 고에너지, 단파장 우주선(cosmic rays)까지 범위 중의 일부분이다. UV 빛은 특별한 조건하에서만 어떤 형태의 분자에서 이온화할 수 있고, 일반적으로 이온화 방사선으로써 고려되고 있지 않다. X-선과 감마선은 물리적 특성과 물질에 대한 효과가 동일하다: 다만 이들은 출처가 다른데, X-선은 기계에 의해 생산되며, 감마선은 방사성 동위원소(방사핵종)에서 발생된다.

이온화 방사선이 개체에 침투할 때(이들테면, 조사식품) 방사선 에너지 모두 또는 일부가 매체에 흡수된다. 이것을 흡수선량(absorbed dose)이라고 한다. 흡수선량의 단위는 gray(Gy)로 측정된다: 이것은 1 J/kg의 흡수량과 같다. 1 kGy(kilogray) = 1000 Gy. 이전에는 선량 단위로 rad가 사용되었었다. 이것은 100erg/g으로 정의된다. 이전것과 새로운 단위를 전환하는데 있어서의 둘의 관계는 다음과 같다.

$$100 \text{ rad} = 1 \text{ Gy} \text{ 또는 } 1 \text{ krad} = 10 \text{ Gy}, \text{ 또는 } 1 \text{ Mrad} = 10 \text{ kGy}.$$

단위시간당 흡수된 에너지를 선량률(dose rate)이라 한다. 감마선원은 비교적 낮은 선량률(일반적으로 100-10,000 Gy/sec)을 나타낸다. 따라서, 특정 흡수선량을 얻고자할 때, 전자선 가속기에 의한 조사는 단지 몇 초 또는 몇 분만이 소요될 것이다.

방사능의 측정단위는 전에는 Ci(curie)를 사용하였지만 현재는 Bq(becquerel)을 사용하고 있다. 이 단위들은 Table 2에 요약하였다.

Bq는 극히 작은 단위이기 때문에, 다음과 같은 방사능의 큰 단위들이 사용되어진다.

10^3 Bq= 1 KB4(kilobecquerel)

10^6 Bq= 1 MB4(megabecquerel)

10^9 Bq= 1 GB4(gigabecquerel)

10^{12} Bq= 1 TB4(terabecquerel)

10^{15} Bq= 1 PB4(petabecquerel)

(“새 단위(new units)”는 전체 국제 과학 기구에 의해 권고되고 있는 International System에 있는 것들이다. Ci에서 Bq로 또는 rad에서 Gy로 전환 하는 것은 calorie에서 joule로 하는 것과 상응한다.)

<Table 2. 방사량 및 방사능의 단위>

	흡수선량	방사능
단위	gray(Gy)	becquerel(Bq)
정의	1 Gy = 1 J/Kg	1 Bq = 1 disintegration/sec
이전 단위	rad	curie(Ci)
환산율	1 rad = 0.01 Gy 1 krad = 10 Gy 1 Mrad = 10 kGy	1 Ci = 3.7×10^{10} Bq= 37GBq 1 kCi = 37 TBq 1 MCi = 37 PBq

나. 감마원(GAMMA SOURCES)

원자는 양전하를 띤 양자와 전하를 띠지 않은 중성자를 포함한 핵으로 구성되어 있으며, 그 둘레에는 음전하를 띤 전자들이 있다. 전자는 shells이나 orbits 안에 배치되어 있다. 일반적으로 가장 바깥쪽에 있는 shell의 전자수와 배치에 따라 원소의 화학적 특성이 결정된다. 일반적으로 원자의 전자수는 양성자 수와 같다. 만약 전자가 바깥쪽 shell에서 제거된다면 원자는 음전하 하나를 잃게 된다. 이것은 양전하를 띤 이온 또는 양이온(cation) 상태가 된다. 반대로, 전자가 바깥쪽 shell에 하나

더해진다면 원자는 음전하를 띤 이온이나 음이온 상태가 된다. 원자가 안정하기 위해서는 핵안에 있는 양성자와 중성자가 일정한 비율, 즉 가벼운 원소의 경우 1:1, 무거운 원소의 경우 1:1.5로 존재하고 있어야 한다. 원자번호는 양자수로 결정이 되며, 질량수(mass number)는 양자와 중성자의 총합수로 결정된다. 예를들어, 헬륨의 경우, 2 양자와 2 중성자를 가지고 있기 때문에 원자 번호는 2이며 질량수는 4이다. (원자 무게는 질량 번호와 거의 같다) 한 원소에는 같은 양자수(즉, 같은 원자번호)와 다른 중성자수(즉, 원자무게는 다른)를 가진 다른 동위원소(isotopes)가 존재할 수 있다. 몇몇 동위원소들, 특히 무거운 원소 중에서는 불안정하거나 방사능을 내는 경우가 있다. 이러한 방사성 동위원소(radio isotopes)는 다소 존재하며, 자연계에서도 항상 존재하고 있다. 더 가벼운 원소중에서 예를들면, 인간 신체와 생물학적 구조에서 중요한 원소인 potassium이 있다. potassium은 거의 대부분 핵안에 19 양자와 20 중성자를 가지고 있는 안정한 동위원소 $^{39}_{19}\text{K}$ 로 이루어져 있다. 그러나 자연적인 potassium은 핵안에 하나의 중성자가 더 들어있는 $^{40}_{19}\text{K}$ 가 0.0118%를 차지하고 있으며, 이는 매우 불안정하다.

자연계에 존재하는 불안정하고 무거운 동위원소의 예로써는 $^{238}_{92}\text{U}$, 또는 uranium-238이 있다. 이것은 92 양자와 146 중성자를 가지고 있다. 방사성 동위원소의 붕괴는 방사선의 다음과 같은 종류 중 한가지 또는 그 이상 해체(release)되는 것과 관계가 있다.

- α 입자(particles) : 2 양자와 2 중성자로 구성된 빠르게 움직이는 헬륨 핵들
- β^+ 와 β^- 입자 : 고속의 양자(positrons) 또는 전자(electrons)
- γ -선 광자 : 빛의 속도로 움직이는 전자기파(electromagnetic wave) 패킷

방사 붕괴율은 주어진 방사능 물질의 원자가 1/2이 붕괴되는데 필요한

시간인 방사능 반감기(half-life)로 묘사한다. Potassium-40의 반감기는 1.83×10^9 년이다. 1.46 MeV의 에너지를 가지고 있는 감마선과 최대 1.3 MeV의 에너지를 가지고 있는 베타선(beta radiation)을 방출할 때, 이것은 안정한 원소인 $^{40}_{18}\text{Ar}$ (argon)과 $^{40}_{20}\text{Ca}$ (calcium)으로 변한다. 반감기는 4.5×10^9 년이고, 알파입자가 방출될 때 $^{238}_{92}\text{U}$ 는 그 자체로 불안정한 $^{239}_{90}\text{Th}$ (thorium)으로 전환된다. 일련의 여러 단계를 지나, 안정한 최종 산물인 $^{206}_{82}\text{Pb}$ (lead)이 생성된다.

자연적으로 발생하는 방사성 핵종 외에 지구상의 인류발생론적(인간이 만든) 방사성 물질은 원자 폭탄 폭발과 핵에너지 생산을 가져왔다. 우라늄 핵이 핵분해 반응에 의해 쪼개질 때, 많은 lighter 원소(분해산물)가 생성된다. 이들 중 대부분은 너무 많은 중성자를 가지고 있어 매우 불안정하다. 주요한 분해 산물에는 ^{89}Sr 과 ^{90}Sr (strontium), ^{89}Kr (krypton), ^{133}X (xenon), 그리고 ^{137}Cs (cesium)이 있고 그 외 다른 것들도 있다. 이들 중 몇몇은 반감기가 단 몇 초이고, 그 외 나머지는 반감기가 몇 년이다.

1950년대에 식품조사에 대한 많은 실험은 핵 반응기의 소비-연료봉(spent-fuel rods)을 가지고 수행한 것이었다. 이러한 연료봉은 서로 다른 반감기와 에너지를 가진 다른 형태의 방사선을 내뿜는 많은 분해 산물의 혼합물을 포함하고 있다. 짧은 반감기를 가진 방사성 핵종이 빠르게 없어져 더 긴 반감기를 가진 것들만 남게되기 때문에 연료봉의 구성 요소는 항상 변한다. 연료봉이 주로 감마 방사선원이라 할지라도, 그들은 약간의 중성자(neutrons)를 방출한다. 후에 그들은 식품과 상호반응할 때 방사능을 생산하기 때문에, 연료봉은 1960년대 초반 이후로 식품 조사에 사용되고 있지 않다. 또한 끊임없이 변하는 구성요소 때문에 연료봉은 방사선의 선량 측정이 어려운데, 이것은 연료봉을 사용하지 못하게 된 이유 중의 하나이다.

연료봉의 각각의 구성요소는 화학적 방법에 의한 재처리 시설에서 분리될 수 있다. 이 방식으로 얻어질 수 있는 방사핵종의 하나가 ^{137}Cs 이다. 30년의 반감기를 가지고 있으며 감마선(0.66MeV)과 베타선(0.51MeV와 1.18MeV)을 방출하는 $^{137}_{55}\text{Cs}$ 는 안정한 $^{137}_{56}\text{Ba}$ (barium)으로 자연 붕괴된다. ^{137}Cs 은 CsCl 형태로 다른 구성 요소들과 분리되어진 후 CsCl은 물에 용해되기 때문에 스테인레스 스틸로 된 삼중 캡슐에 넣는다. 이것이 만약 유출된다면 환경오염을 야기시킬 것이다. Washington, Hanford의 Waste Encapsulation and Storage Facility (WESF)에 의하면 ^{137}Cs 캡슐은 활성길이가 100mm(총길이 500mm)이고 직경은 67mm이다. 전세계적으로 재처리 시설은 소수에 불과하며 소비연료봉에서 ^{137}Cs 를 추출하는 능력도 매우 제한적이다.

미국에서 몇 개의 상업적 재처리 시설을 짓기 위한 계획은 1977년 미국이 상업적 소비핵 연료(spent nuclear fuel)의 재처리 시설에 대해 확장하지 않겠다는 카터 대통령의 결정에 의해 취소되었다. 결과적으로, ^{137}Cs 는 많이 이용할 수가 없게 되었고 감마 방사선 설비도 ^{137}Cs 을 많이 사용하지 않았다. 그 대신에, ^{60}Co 이 감마선원으로 이용되기 시작하였다. 이것은 분해산물이 아니다. ^{60}Co 을 획득하기 위해서는 비방사성핵종 ^{59}Co 의 slugs나 pellets을 핵반응 장치에서 1년에서 1년 반동안 중성자로 충격を加한다. 세계 시장에서 이용되는 ^{60}Co 의 80% 이상이 캐나다에서 생산되어지고 있다. AECL(Atomic Energy of Canada, Ltd.)에 의해 제공된 것에 따르면 활성화된 cobalt pellets는 감마원으로서 이용하기 위해서 길이 450mm, 직경 12.5mm의 핀이나 펜슬 모양의 stainless steel liner로 된 캡슐에 싸야 한다. 감마선원 핀을 길고 얇게 디자인하는 이유는 cobalt의 자가흡수와 열 증강을 최소화 하기 위함이다. ^{60}Co 는 물에 녹지 않는 형태로 존재하기 때문에 환경오염에 대한 위험이 거의 없다고 볼 수 있다. 5.27년의 반감기를 가지고 있으며 감마선(1.17과 1.33MeV)과 베타선(0.31MeV)을 방출하는 $^{60}_{27}\text{Co}$ 는 안정한 ^{60}Ni (nickel)로 붕괴된다.

^{60}Co 원이 처음의 강도로 유지하려면 해마다 12.4%의 연료공급이 필요하다. 조사시킬 물질은 방사선이 conveyor system에 물건을 적재하고 내리는 작업공간으로 도달하는 것을 방지하기 위해 미로를 통해 콘크리트 벽으로 보호된 조사실로 들어간다.

만약 3 MCi cobalt 선원에서 방출되는 감마에너지 모두가 조사제품에 흡수된다고 가정하면(100% 효율성), 이것은 1초동안 4.44t의 제품을 10Gy로 처리, 또는 1시간 동안 16t의 제품을 10kGy로 처리할 수 있음을 의미한다. 실제로는 약 25%의 효율성을 가지고 있어, 1시간 동안 10kGy로 4t 제품을 조사할 수 있다. 이 기계를 하루 24시간, 1년 중 10달을 가동하였다면, 10kGy 흡수선량으로 29,000t의 제품, 또는 1kGy 흡수선량으로 290,000t을 조사할 수 있다. 실제로 conveyor system의 최대 속도, 조사장치로 제품을 운송하고 조사 후에 꺼내는 병참작업과 같은 요인들을 고려하여야 한다.

^{137}Cs 가 붕괴할 때의 감마에너지는 0.66 MeV인데 이것은 ^{60}Co 가 붕괴할 때 에너지의 1/4 이하이다. 게다가 cesium의 더 큰 자가흡수는 단지 70%의 cesium 활성도를 가지게 한다. 결과적으로, ^{137}Cs 조사기는 선량률 또는 작업처리량에 있어서 ^{60}Co 조사기에 비해 약 1/7 만을 제공한다.

식품조사의 반대자들은 감마선 조사시설의 존재가 방사성 소비 물질을 축적시킬 것이라고 경고하였다. 그러나 이것은 잘못된 생각이다. cobalt-60은 비방사성 원소인 nickel로 전환되며, ^{137}Cs 도 비방사성 barium으로 전환이 되기 때문이다.

상업적 감마선 조사시설은 전 세계적으로 약 150개가 존재한다. 이들 대부분은 20년 이상 가동되어 왔으며 거의 1회용 의료 제품의 멸균에 사용되어지고 있다. 단지, 몇몇 나라에서만 식료품에 이용하고 있다.

다. 기계적 선원

1) X-선

최근에 X-선 기계를 이용한 식품조사에 대한 연구가 체계적으로 수행되었다. X-선은 충분히 높은 운동에너지를 가진 전자에 의해 물질이 폭발될 때 생겨난다. X-선 튜브는 비어 있는 유리 진공관으로 구성되어 있는데, 이 진공관 내부의 한쪽 편에는 열을 내는 전선 필라멘트가 있고, 반대편에는 냉각을 위한 금속조각, 보통 텅스텐이 있다. 필라멘트에서는 음전하(음극)가 나오고, 금속에서는 양전하(양극, 또는 대음극)가 나온다. 음극 필라멘트에 전류가 지나감으로써 열이 발생되어, 여기에서 전자가 방출된다. 이것이 양극을 칠 때, X-선이 생기게 된다. X-선 튜브에서는 전자에 의해 전달된 에너지의 약 99%가 열로 전환되며, 단 약 1%의 에너지가 X-선 형태로 나타나게 되는 것이다. X-선의 에너지 또는 파장(wave length)은 음극과 양극사이의 전위차에 의해 결정된다. X-선 기계에 있어 필수적인 부분인 X-선 튜브와 함께 고 전압 발전기는 전위차를 생기게 하는 기계이다. X-선 기계를 식품조사실험실 규모의 실험에서 아직도 종종 이용되고 있으나, 상업적 식품조사에 있어서는 전혀 이용되지 않고 있다.

2) 전자선(electron beam)

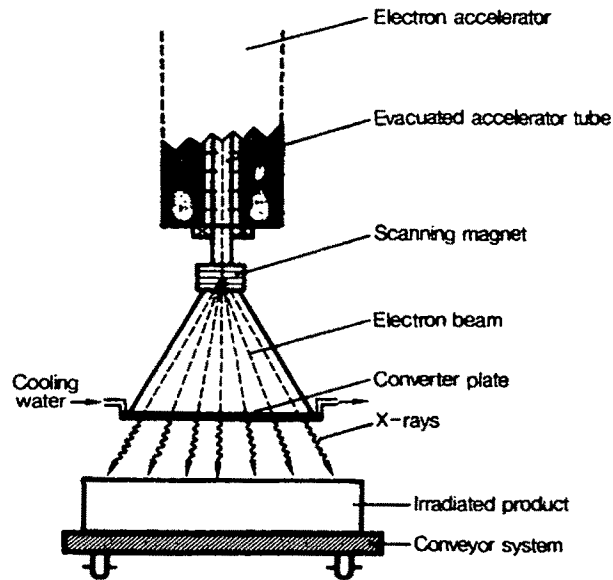
1950년에 상업적 규모의 조사 능력이 갖추어진 전자 가속기를 이용하였으며, 그 때 이후로 많이 개선되어왔다. 전자선은 진공 음극선으로 생산하거나 전기의 힘으로 선형 가속기를 돌려 생산한다. 따라서 사용하지 않을 때에는 기계를 꺼 놓으면 전자선의 발생이 중단된다. 다양한 디자인이 현재 이용되고 있는데, 의료품과 포장물질의 멸균, 방사선 치료, 전선과 케이블 절연체의 curing, 다 써버린 기체에서 독소성분의 제거, 그리고 그 외 많은 분야에 적용되고 있다.

전자선의 효과적인 침투 한도는 에너지 단계에 의해서 결정된다. 저에너지(300 keV까지)와 중간 에너지(300keV~1MeV)의 전자선가속장치는 단지 얇은 층의 물질에 처리할 수 있는데, 이는 전자가 몇 mm 이상의 두께를 침투하지 못하기 때문이다. 식품에 있어서, 단지 포장물질의 필름 또는 시트(sheets)를 멸균하는데 효과적이다.

고 에너지 전자선 가속장치는 1MeV이상의 에너지를 가진 전자를 발생시킨다. 식품조사의 목적을 위해서는 처리된 식품 내에 방사능을 유발하지 않게 하기 위해 10MeV가 최대 한계이다. 손가락(thumb) 법칙에 의해, 대부분 식품에서 전자선의 침투 깊이는 5mm/MeV 이다. 그러므로 10MeV 전자선의 경우 한쪽 면만 조사할 때 5cm 두께까지 조사할 수 있고, 양쪽 면을 조사할 경우 10cm 두께까지 조사될 수 있다.

고 에너지 전자선 가속 장치는 두가지 기본적인 디자인이 있다. 하나는 DC(direct current:직접 전류) 가속장치이며, 다른 하나는 전자파 또는 RF(radio frequency:라디오파) 선형가속장치(linac)이다²². 이 두가지 형태에서, 빈 튜브의 전자는 빛의 속도에 가까운 매우 빠른 속도로 가속화되어진다. DC 가속장치의 경우, 고전압 발전기에서 나온 전자는 뜨거운 전선 또는 “전자 총(electron gun)”으로 밀어제쳐 전자를 튜브의 음극 끝에서 양극 끝으로 끌어당긴다. 전자는 높은 전위차와 더 높은 속도를 가지게 된다.

DC 가속장치는 ICT[Ⓞ] (Insulating Core Transformer), Dynamitron[Ⓞ]에서 다양하게 제작되었는데, 고전압이 생성되는 방법면에 있어 그 주요한 차이가 있다. 최적의 절연을 위해 고전압 발전기는 SF⁶(sulphurhexafluoride) 가스로 채워진 압력 탱크안에 넣어져 있다. 에너지와 전류는 전자선 가속장치의 출력 능력을 결정한다. 예를 들면, 25mA의 4MeV 광선(beam)은 100kW의 beam power를 생산해 낸다. 더 높은 전압은 더 큰 침투력을 의미한다. 더 높은 beam power는 조사되어질 물질의 더 높은 작업처리량을 의미한다.



<Figure1. DC 전자가속장치의 기본 설계>

Figure 1에 도식화된 것을 보면, 전자선은 가속장치 튜브의 끝에 도달한 전자선은 scanning magnet에 의해 여러방향으로 빔나하게 된다. 100-200 Hz의 주파수를 가진 전자선은 진자처럼 이리저리 움직인다. 이렇게 하는 이유는 가능한한 조사할 식품의 모든 부분에 같은 선량을 조사하기 위함이다. 전자선의 직경은 단 몇 mm 또는 cm이다. 만일 scanning 과정이 없다면, 조사될 제품의 매우 작은 부분에 모든 전자선이 집중될 것이다.

냉동된 닭고기의 전자선 조사를 위한 기계가 지난 1986년에 프랑스, Vannes에서 작동되기 시작했다. 조사의 목적은 살모넬라와 기타 질병을 야기하는 병원성미생물을 죽임으로써 고기의 위생적 품질을 향상시키기 위함이었다.

상대적으로 낮은 침투 깊이 때문에 전자선은 동물 도체육, 큰 포장, 또

는 다른 두꺼운 물질에 사용할 수 없었다. 그러나 이러한 어려움은 전자선을 X-선으로 전환시킴으로써 극복할 수 있었다. 이것은 scanner에 찬물이 이동할 수 있는 금속 판을 설치하면 전환시킬 수 있다. 하지만, 기존의 X-선 튜브의 경우, X-선 에너지를 전자선 에너지로 전환시킬 때 효율성이 단지 약 1%에 불과했다. 더 높은 효율성을 위해 전자선 가속장치를 사용한다.

전환 효율성은 전환 판(converter plate)(목표물)의 물질과 전자 에너지에 달려있다. 구리는 5MeV 전자를 효율성 7%로, 10MeV 전자를 효율성 12%로 전환할 수 있다. 텅스텐은 5 MeV 전자를 약 효율성 20%로, 10MeV 전자를 효율성 30%로 전환시킬 수 있다(정확한 수치는 목표물 두께에 따라 다르다).

X-선은 적어도 cobalt-60 감마선의 침투력과 같아서 약 30cm 두께의 식품을 어려움 없이 조사할 수 있다. X-선이나 전자선을 같은 기계에서 사용할 수 있는 가능성은 이 기술의 장점이다.

방사선 가운데 식품 및 의료 산업에서 활용되고 있는 비율은 대략 γ -선이 80%이상, 전자선이 20% 미만을 차지하고 있으며, X-선은 진단용을 제외하고는 실제적인 이용에 한계가 있다. 전자선은 γ -선에 비해 투과력이 약하여 활용 범위가 제한되어 있으나 곡류의 살충이나 표면 살균, 의료 제품 및 제약 등의 분야에 일부 실용화되고 있다. 특히 전자선 발생은 전원에 의해서 조절이 가능하여 공정 제어, 신속, 정확성, 에너지 효율성, 소비자 수용성 등의 측면에서 장점이 있어 현재 선진국에서는 연구개발이 활발하게 추진되고 있다.

또한 식품내 침투 깊이에 따른 방사선의 분포가 감마선에서보다 균일한 장점을 가진다. 가속기의 동력이 매우 높기 때문에 조사 속도가 10^3 - 10^6 Gy/sec로 제품은 전자선 조사 장치 아래를 신속히 통과하므로 제품의 조사실 지체 시간이 짧다. 따라서 냉장 제품의 온도 상승은 문제가 되지 않는다.

반면에 가속기의 고에너지, 고동력은 많은 열을 발생시켜 가속기의 불안정과 동력 손실을 가져올 수 있다. 따라서 가속기의 안정을 위해 온도 유지가 매우 중요하며 많은 양의 냉각수를 사용하게 된다. 또한 전기나 펌프의 정지는 냉각수 공급을 중단시켜 가속기를 과열시키고 나아가서는 손상을 입힐 수 있으므로 자동으로 보조 펌프나 발전기가 가동되도록 한다. 결과적으로 전자선 조사는 감마선 조사보다 급원의 유지 관리가 안전한 반면에 여러 가지 시설이 더 많이 필요하며 그들의 유지 보수가 요구되어 고장날 가능성이 많다는 차이가 있다.

고에너지 전자선이 매체에 흡수될 경우, 매체와 전자선의 상호작용에 의해 활동에너지가 잃는다. 흡수매체원자와 궤도전자의 상호작용은 이온화 반응과 여자(勵磁)반응을 일으킨다. 이온화반응은 궤도전자가 매체원자로부터 방출되는것을 의미하고 여자(勵磁)반응은 궤도전자가 고에너지의 궤도로 이동하는것을 의미한다. 방출된 전자(Secondary electrons)는 입사전자에너지의 대부분을 가져가고, 흡수매체와 궤도전자의 상호작용을 통해 에너지를 잃는다. 하위 여자(勵磁)에너지 수준의 저속도 전자는 열중성자 과정에서 분자의 진동을 일으킨다. 입사전자는 흡수매체원자와의 충돌의 결과로서 방향을 전환할 수 있다. 반복되는 충돌은 복잡한 방향으로 전환을 일으킨다. 그 결과 모든 방향으로 전자가 분산된다.

감마선이나 X-선 광자가 흡수매체에 상호작용할 때 광전자 효과, Compton 효과, 전자와 양자가 한 쌍으로 구성되는 세가지 유형의 상호반응이 발생할 수 있다. 0.1 MeV 이하의 에너지 광자에서는 광전자의 흡수가 대부분 일어나고, 10MeV 이상의 에너지 광자에서는 처음으로 전자와 양자가 한 쌍으로 구성된다. Compton 효과가 우세한 곳에서는 위의 두가지 효과 모두 식품 조사에서 2차적인 중요성을 갖는다.

입사광자와 흡수매체원자가 상호작용하는 반응이 Compton 효과이다. 전환된 방향에서 충돌한 후 입사광자는 처음의 에너지 수준 이하로 계속 들어온다. 방출된 전자(Campton 전자)는 흡수매체원자에서 이온화반응과

여자(勵磁)반응을 일으키기 위하여 충분한 활동에너지를 갖는다. 그러므로 전자선가속장치의 입사전자와 같은 방법으로 흡수매체에 상호작용한다.

Compton 전자는 감마선이나 X-선 광자가 매체와의 상호작용시에 발생되기 때문에, 그리고 전자선가속장치와 같은 방법으로 이온화반응과 여자(勵磁)반응을 일으키기 때문에 조사된 매체에서 유도방사선의 화학적 변화는 사용된 방사선의 종류에 관계없이 같다.

3) 조사 기계의 비교

여러 조사장치의 이론적 작업처리량의 비교는 1kw 감마선에서 방출되는 67,578 Ci(또는 약 2.5 TBq) ^{60}Co 또는 308,641 Ci(약 11.4 TBq) ^{137}Cs 를 기본으로 하였다. 또한 1kw 원소를 100% 효율성으로 가정한다면 10kGy로 1시간 동안 360kg의 제품을 처리할 수 있다⁹. kw로 표현되는 beam power의 전자선 가속장치와도 비교할 수 있다. 적절히 설계된 기계의 경우, 전자선은 50% 효율성, ^{60}Co source는 30%와 ^{137}Cs source는 20%(자가 흡수가 더 높기 때문에 ^{137}Cs 의 효율성은 ^{60}Co 보다 1/3 적음)로 가정할 수 있다. 1시간 동안 10kGy 선량으로 1kw 전자선은 식품 또는 다른 물질을 180kg 처리할 수 있으며, 67,578 Ci ^{60}Co 은 108kg, 308,641 Ci ^{137}Cs 는 72kg을 처리할 수 있다. 5MeV 전자선이 8% 효율성으로 X-선으로 전환되며 X-선은 조사 식품에 50% 효율성을 가지고 있다면, 1시간 동안 10kGy 선량으로 180kg을 처리하기 위해서는 약 12.5kw의 전자선 에너지가 필요하다.

기술적인 면을 고려할 때, 조사장치에 따라 침투력과 선량률 차이가 있다. 감자를 큰 나무 상자에 담아 조사할 경우, 전자선 조사장치 보다 감마선을 선택하는 것이 좋다. 두 형태의 감마선원을 비교할 때, ^{60}Co 조사가 ^{137}Cs 조사보다 침투력이 더 높기 때문에 ^{60}Co 을 사용하는 것을 고려해 볼 필요가 있다. 양이 많은 제품, 예를들어 하루에 5,000-10,000t의

밀에 얽은 막을 찢어 조사하고자 할 때는, 전자선 가속장치가 적당하다. 다양한 치수와 밀도를 가진 제품의 경우, 용통성을 고려하여 X-선 전환판을 이용한 전자선 가속장치를 선택할 수 있다.

라. 식품 조사시의 효과와 관련된 요인들

1) 선량 및 선량률(dose and dose rate)

전리 방사선에 노출된 물질에 흡수된 에너지의 양을 흡수선량(absorbed dose) 또는 선량 D(dose D)라고 한다. 저선량에서 방사선량을 증가시키는 것은 산물의 양을 증가시키나 산물의 본질을 변화시키지는 않는다. 저장 효과 3가지 기준은 다음과 같다.

완전 살균(Radappertization)은 밀봉한 식품 용기를 공중 보건의 중요성과 식품의 부패 미생물을 죽이기 위한 목적으로 조사 선량에 노출시키는 것이다. 그 결과 냉장 보관하지 않고도 식품을 보존하고 재오염되지 않도록 한다. 선량은 10kGy이상을 사용하며, 일반적으로 육류나 어육류는 냉동 상태에서 부적절한 관능 성질이 일어나지 않을 만큼의 고선량을 적용한다. 완전 살균은 일종의 가열 살균(thermal sterilization)과 유사하다.

병원균 살균(Radicidation)은 식품에 생존 가능한 무포자 형성 병원성 미생물을 죽이기에 충분한 선량에 노출시키는 것을 의미한다. 일반적으로 식품에 있는 *Salmonella*를 죽이는데 사용하는데 선량은 2.5-6kGy로 다양하고 가열살균 중 저온살균과 유사하다.

부분 살균(Radurization)은 특별한 부패 미생물의 수를 감소시킴으로써 식품의 품질을 증진시키는데 충분한 선량을 식품에 노출시키는 것이다. 처리된 식품은 미생물이 재성장하므로 장기간 안정하지는 않다. 그러므로 다른 방법과 조합하여 사용한다. 이 방법은 식품의 저장 기간을 연장할 수 있어 상업적으로 유용하고 선량은 식품에 따라 1-5kGy를 적용한다.

2) 온도(temperature)

화학반응의 활성화 에너지는 온도를 변화시키고 반응물의 결과산물을 변경시킨다. 온도는 매체의 점도에 영향을 주므로 방사선 분해에 영향을 미치는데 온도가 증가하면 중간산물의 움직임이 증가하여 방사선 분해율도 증가한다. 온도의 점도 효과는 냉동 상태에서 더 우세하고 낮은 온도는 조사 식품의 관능 성질에 영향을 미치는 휘발성분의 생산을 감소시킨다고 보고하였다.

3) pH

pH는 1차 방사선분해 중간산물의 성질에 영향을 미침으로써 방사선분해에 영향을 준다. Spink와 Woods에 의하면 방사선의 분해로부터 유리기 생성은 중성일 때보다는 산성일 때 더 유리하다고 보고하였으며, 낮은 pH와 조사는 박테리아 성장 억제에 상승적으로 작용한다고 하였다.

4) 산소(Oxygen)

물로부터 형성된 수소 원자는 산소와 반응하여 과산화기를 형성하며, 조사시 산소가 없다면 과산화수소는 거의 생성되지 않는다. 이 반응으로 기관내에 존재하는 산소의 양이 적으면 산소는 빠르게 소비되어 혐기적인 조건을 형성한다. 전자가속기에 의한 전자선 조사는 10^3 - 10^6 /sec 정도의 고선량률이므로 산소는 대기중에 산소가 확산되는 것보다 더 빠른 속도로 고갈되어 혐기적인 조건을 유지할 수 있다.

마. 식품 조사 기술의 국내 현황

국내에서의 식품 조사 분야 연구 개발은 1966년 방사선 농학 연구소가 설립되면서 ^{60}Co 감마선을 이용한 식품 저장 연구가 시작되었다. 당시에는 저준위의 조사 시설을 이용한 기초 연구로써 마늘, 포도, 딸기, 사

과, 양파, 배, 소시지, 토마토, 고춧가루 등에 대한 응용 연구가 시도되었다.

<국내방사선조사허가품목>

품목	조사목적	허가선량 (kGy)	허가일자
감자, 양파, 마늘	발아, 발근 억제	0.15이하	1987. 10. 16
밤	발아, 발근 억제	0.25이하	1987. 10. 16
버섯(생 및 건조)	살충, 속도 조정	1.0 이하	1987. 10. 16
가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	1991. 12. 14
된장, 고추장, 간장 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	1991. 12. 14
조미식품용 전분	살균, 살충(위생화)	5 이하	1991. 12. 14
가공식품 제조원료용 건조 채소류	살균, 살충(위생화)	7이하	1995. 5. 19
건조향신료 및 이들조제품	살균, 살충(위생화)	10이하	1995. 5. 19
효모, 효소식품	살균, 살충(위생화)	7이하	1995. 5. 19
알로에 분말	살균, 살충(위생화)	7이하	1995. 5. 19
인삼(홍삼포함)제품류	살균, 살충(위생화)	7이하	1995. 5. 19
2차살균이 필요한 환자식	살균	10이하	1995. 5. 19

한편 1970년대 중반 이후에는 산업화 관련 분야의 연구가 시작되면서 국내에서도 유엔개발계획(United Nation Development Program : UNDP)의 자금 지원에 의해 1975년 대단위 조사 시설(^{60}Co , 100kCi : 3.7 PBq)이 건설됨에 따라 시범 사업 규모의 의료 용품 멸균과 식품 조사 연구가 가능하게 되었다. 국내의 방사선 조사 식품에 대한 본격적 연구는 한국 원자력 연구소에서 1980년부터 지금까지 17여년간 수행되고 있으며, 한국 원자력 연구소가 기술 지원한 중소기업, 그린피아기술 주식회사에 의해

1987년 6월 경기도 여주에 상업적 다목적용 방사선 조사 시설(^{60}Co , 640kCi)을 준공, 현재 가동 중에 있다. 또한 한국 원자력 연구소에서 수행된 조사 식품의 연구 결과를 바탕으로 1987-1991년 사이 3차례에 걸쳐 총 13개 식품품목군의 방사선 조사 허가를 보건 복지부로부터 취득하여 현재 식품류의 상업적 방사선 조사가 행하여지고 있는 품목이 표3에 열거되어 있다.

1991년 7월 1일 향신료 등 건조 식품에 대한 ethylene oxide 훈증처리가 금지된 후 본 시설을 이용하는 업체의 수가 크게 증가하고 있으며, 이는 위생적 품질관리가 절대적으로 요구되는 가공식품의 대량생산 체제에서 현실적으로 분말 및 건조 식품과 수출용 가공식품에 적합한 살균, 살충 방법이 미비한 상황이므로 국내외의 식품 산업에서 방사선 조사기술의 수요가 증가하는 것은 당연한 현상이라 하겠다. 최근에는 식품 및 의료제품의 방사선 조사를 위한 상업적 조사 시설 건설을 97년 하반기에 착공할 예정에 있어 국내에서도 두번째로 상업적 방사선 조사 시설을 갖추게 될 추세로 볼 때 식품 조사의 실용화와 잠재력은 크게 기대된다.

바. 육의 전자선 조사와 고온 숙성

1) 육의 전자선 조사

Heath 등(1990)은 고에너지 전자선 조사가 닭고기 품질 특성에 어떠한 영향을 끼치는지 알아보는 실험에서 조사량에 따라 관능 평가에 차이가 있었는데 100krad 조사 후 익힌 시료에서만 이취가 발생하지 않았고 나머지 시료들은 전부 이취가 발생하였다. 또한 TBA값은 300krad를 조사한 시료만 TBA값이 증가하였고 100krad, 200krad 조사 시료는 TBA값이 증가하지 않았다고 발표하였으며, Shamsuzzaman 등(1995)은 진공포장육을 1.0, 2.0, 3.0 kGy로 전자선 조사를 하고 71.7℃로 저온조리를 한 후 8℃로 저장하는 동안 미생물의 생존과 성장에 대해 알아보는 실험에서 전자선 조

사와 진공포장하에서 얼처리는 8주간 저장 기간을 연장시키는 결과를 가져왔다고 밝혔다.

또한 Lee 등(1996)은 쇠고기의 고온 숙성에 대한 2.0kGy 전자선 조사와 25% CO₂, 75% N₂의 MAP(modified atmosphere packing)를 겸한 실험에서 30℃, 2일 동안의 숙성은 저온에서 7~14일 숙성시킨 것과 동일한 연도를 생산하였고 조사육을 숙성 후 즉시 냉장시킬 때 과도한 미생물의 성장 없이도 연도를 증진시킬 수 있다고 하였다. Luchsinger 등(1996)은 뼈 없는 돼지고기 조각을 진공포장과 공기통과포장으로 나누고 1.5 또는 2.5kGy로 조사를 한 후 1~5℃에서 냉장저장을 하고 2.5 또는 3.85kGy로 조사한 것은 -20~-14℃로 냉동저장 하였을 때 -17℃에서 냉동시킨 진공포장된 전자선 조사 시료가 색과 산패, 미생물 수에 대해 다른 시료보다 안정하다고 발표하였다.

2) 쇠고기 숙성에 대한 효과

Parrish 등(1969)은 7℃에서 1일, 2일간 저장, 15℃에서 1일, 2일간 저장, 2℃에서 1일간 저장, 21℃에서 1일간 저장 한 후 모든 시료를 2℃에서 4일, 7일간 저장했는데 결론적으로, 대부분의 경우 숙성 온도와 숙성 기간에 따라 육류의 특성에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. Minks 등(1972)은 쇠고기 등심과 갈비를 진공포장과 무포장으로 나누고, 온도는 0℃와 4.4℃ 그리고 숙성 기간은 7일과 15일 동안 저장하고 고기의 숙성에 미치는 영향을 평가하였는데, 포장의 효과에서는 전단력, 연도, 풍미, 육즙 면에서는 유의적 차이가 없었으나 미생물 수와 체중손실면에서는 진공포장이 무포장보다 더 좋은 결과를 얻었고, 4.4℃, 무포장이 다른 처리구보다 연도가 높았다. 온도의 효과는 육즙과 풍미면에서는 유의적 차이가 없었고 전단력, 연도에서는 4.4℃가 0℃보다 더 좋았으나, 미생물 수는 4.4℃가 0℃보다 5.34배 많았다. 또한 숙성 기간이 증가함에 따라 연도가 증가한다고 발표하였다.

Davey 등(1976)은 60℃까지 최고의 숙성 범위가 완성되었고, 65℃이상에서의 연화는 숙성 때문이 아니고 결체 조직의 용해 때문이라고 보고하였으며, Petaja 등(1985)은 쇠고기를 사후에 10℃, 30℃, 37℃, 42℃의 온도로 각각 인큐베이터에 저장해서 숙성시킨 후 여러 효과를 알아보는 실험에서 37~42℃에서 고온 숙성시킨 시료가 전단력, pH, sarcomere 길이, 연도면에서 더 좋았다고 보고하였다. 또한, Tornberg 등(1986)은 단축이 가장 적게 오는 온도인 15℃와 효소 활성화로 단백질 분해가 잘되는 온도인 37℃에서 쇠고기 근육의 연도에 미치는 영향을 연구한 결과 경직의 발전이 느리고 수축이 적은 15℃에서의 이식적인 영향이 단백질 분해 효소가 잘 방출된다고 가정되는 37℃에서의 영향보다 연도면에서 더 중요하다고 보고한 바가 있으며, Oreskovich 등(1988)은 쇠고기 등심을 2℃에서 7일간 숙성해서 PVC(polyvinylchloride film)포장, 진공포장, 공기포장을 한 실험에서 기호성면에서는 PVC포장이 다른 처리보다 이취가 많았고 전단력은 모든 처리에서 유사했으며 처리구들 사이의 수분 함량, 지질 함량, pH, TBA 값은 차이가 없었다. 포장방법은 쇠고기 등심 부위의 기호성과 화학적 특성에는 영향을 주지 않았다고 발표하였다.

Koohmaraie 등(1991)은 단백질 분해 비율의 차이는 연도와 관련이 있고 Ca^{2+} -dependent protease inhibitor를 감소시키는 여러 조작으로 사후 도체의 단백질 분해를 가속화하여 연도를 향상시킬 수 있을 것으로 보고하였다. 그 후 Koohmaraie 등(1994)은 연도에 영향을 미치는 요인중 도체의 단백질 분해가 가장 중요한 요인이고 이온 장력, 콜라겐용해도도 연관이 있으며, 또한 Calpain의 단백질 분해 작용도 연도 향상을 초래하는 도체 변화의 원인이 된다고 주장하였다. 그리고 pH와 온도가 calpain에 많은 영향을 끼치는 요인이라고 보고하였다.

Dransfield (1994)는 연화의 정도가 calpain의 수준에 비례하고 온도가 높고 빠른 강직이 전개될수록 증가하고, 연화의 촉진 수단으로는 전기자극, 높은 최종 pH가 있는데 최종 pH가 낮아짐에 따라 숙성의 양이 증가하

지만 총 연화는 비슷하게 유지되며, 또한 쇠고기의 최종 pH는 15~36시간 안에 도달하고 0~40℃의 범위인 상수 온도에서의 숙성률은 농도가 10℃ 증가할 때마다 2.5배 증가한다. 이것은 쇠고기가 숙성하는데 0℃에서 10일간 걸림을 의미한다고 보고한 바 있다.

3. 재료 및 방법

가. 공시 재료 및 전자선 조사

도살후 0~2℃에서 1일 저장된 반건양근(*Semitendinosus*) 부위의 쇠고기 약 30kg을 시내 정육점에서 구입하여 약 두께 2-3cm로 절단한 후 사용하였다. 절단된 쇠고기 시료는 고밀도 폴리에틸렌 용기에 포장하였다. 대조구는 전자선 조사 처리하지 않고 5℃에서 8일간 저장시켰다. 약 16-20시간 동안 냉장 상태로 유지된 쇠고기를 삼성종합기술원(대전)에서 ELV-4 1 MeV 전자선 가속기(electron-beam accelerator, Samsung Inc., Korea)로 전자선을 1.5와 3.0kGy 두 수준으로 조사하였다. beam current는 1.5 kGy의 경우, 2 mA이고 3.0 kGy는 4 mA이다. conveyor system의 속도는 20m/min이다. 선량률은 1.5kGy는 3.0kGy/s, 3.0kGy는 6.0kGy/s이며, Cellulose Triacetate(CTA) 선량계로 총흡수선량이 측정되었다. 쇠고기 시료 양면을 각각 조사한 후 약 3-5시간이 경과된 후에 5℃와 20℃ incubator에 저장하였고, 20℃에서의 고온 숙성은 35시간 동안 처리한 후 다시 5℃에 저장하여 고온 숙성의 효과를 3 반복하여 측정하였다.

나. 실험 방법

1) pH 측정

쇠고기 시료를 세절기로 갈은 후 10g을 증류수 100ml에 넣어 1.5분 동

안 균질하여 pH meter(SUNTEX, Model SP-5A, Taiwan)를 사용하여 측정하였다.

2) 연도(Tenderness) 측정

객관적인 방법에 의한 연도를 측정하기 위해서 쇠고기를 심부온도 70℃ 가 될 때까지 가열한 후, 1cm×1cm×1cm의 크기로 성형하여 고기 섬유와 결이 probe가 내려오는 각과 90° 가 되도록 하였다. 처리구당 정육면체 쇠고기 시료 3개씩 준비하여 Instron (Instron model 1000, England)으로 연도를 측정하였다. Probe는 Puncture probe (2830·005/015)를 사용하였으며, Instron작동 조건은 Probe chuck Assembly는 2830·006, Range 50kg, Crosshead control 200mm/min, Chart speed 10×10 mm/min이었다.

3) 색도(Color) 측정

신선육색은 Chroma meter (Minolta CR-210, Japan)를 사용하여 CIE L, a, b system (Commission International de l'Eclairage-International Commission on Illumination System)으로 L, a, b값을 측정하였다.

4) TBA(Thiobarbituric acid) Value 측정

TBA값은 Witte 등(1970)의 방법을 수정하여 측정하였다. 세절한 쇠고기 10g에 20% TCA용액 25 ml을 넣어 균질하였다. 이에 증류수를 첨가하여 총 부피를 50 ml을 만들어 여과(Whatman filter paper #1)한 후 이 여액 5ml와 TBA(0.005M 2-thiobarbituric acid)용액 5ml를 혼합하여 15시간 동안 암냉소에 방치한 후 흡광 광도계(Shimadzu UV160, Japan)로 530nm에서 흡광도를 측정하였다.

5) 총균수(표면 미생물 수) 측정

총균수의 측정은 쇠고기 표면에 멸균된 Template (2.5cm x 4cm)를 대

고 멸균된 면봉으로 가로 10회, 세로 10회 문지른 후, 멸균된 1% Peptone(DIFCO Laboratories, USA)수 10ml에 면봉을 넣어 vortex mixer로 균질화시킨 액을 희석하였다. 배지는 plate count agar(DIFCO Laboratories, USA)를 사용하였고 30~300개의 군락(colony)을 형성한 것만 선택하여 총균수를 측정하였다.

6) 관능 검사

관능 검사는 5종류 시료 [대조구(5℃), 1.5kGy(5℃, 20℃), 3.0kGy(5℃, 20℃)]의 조리육의 풍미, 연도, 다즙성, 종합적 기호도를 5명의 관능 검사원이 저장 중 0, 2, 4, 6, 9일에 각각 측정한다. 또한 신선육의 육색도 관능 검사원에 의해 평가한다. 시료는 3cm×2cm×2cm크기로 절단한 후, 심부온도 70℃까지 조리하여 관능 검사원들에게 제공한다. 관능 검사는 육색과 풍미에서 1점은 매우 나쁨, 10점은 매우 좋음이었다. 연도에 있어서는 1점이 매우질감, 10점이 매우 연함이었으며, 다즙성의 경우 1점이 매우 건조함, 10점이 매우 다즙함이었으며, 종합적 기호도는 1점이 매우 나쁨, 10점이 매우 좋음이었다.

7) 통계분석

통계분석은 Duncan의 다중검정법으로 5%수준으로 처리구간의 유의성을 검정하였다.

4. 결과 및 고찰

가. 저장중 pH의 변화

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 pH 변화는 표1에 나타나 있다. 대조구에서 pH가 저장기간동안 상승되는 경향을 나타냈고, 저장 2일째에

는 감소 추세를 보였으며, 모든 시료에서 9일에는 6일에 비해 다소 높은 수치를 나타내었다. 그러나, 저장 온도나 조사량에 따른 현저한 차이는 나타나지 않아, Lee 등(1996)이 신선육의 pH는 온도, 조사 처리 유무, 저장 일수에 따라 유의성이 인정되지 않았다는 발표와 유사한 결과를 얻었다.

Table 1. Changes of pH values of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without electron-beam treatment stored for 9 days at different temperatures

Days	Non-irradiated	Irradiated			
		5℃	1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃
0	5.24	5.25	5.21	5.30	5.40
2	5.19	5.16	5.18	5.19	5.27
4	5.36	5.38	5.37	5.35	5.33
6	5.50	5.28	5.31	5.32	5.34
9	5.89	5.45	5.43	5.43	5.40

나. 전단력의 변화

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 쇠고기의 전단력 변화는 표2에 나타나 있다. 기계에 의한 객관적인 연도 측정 결과를 보면 20℃시료에서는 저장 2일째부터 전단력이 낮아져 고온 숙성에 따른 연화 효과를 나타냈으며, 저장 기간 동안 전반적으로 전단력이 낮아져 연도가 향상되는 경향을 나타냈다. 5℃에서 저장된 시료는 일관성있는 결과를 나타내지 못하였고 조사 여부 또는 조사량에 따라 전단력에는 현저한 차이를 나타

나지 않았다.

주관적인 평가인 관능 검사에 의한 전단력변화는 표3에 나타나 있다. 관능 검사에 의한 연도를 평가한 결과 20℃ 시료에서는 저장 2일째부터 전단력이 낮아져 저장 기간이 지날수록 연도가 향상되는 경향을 보였으며, 대조구는 9일째에 연도가 다소 높아지는 경향을 보였다. Heath 등(1990)은 조사량에 따른 전단력의 유의성은 인정되지 않았다고 발표하였으며, Lee 등(1996)은 2.0kGy로 조사하여 25% CO₂, 75% N₂의 MA(modified atmosphere)포장한 쇠고기 시료를 30℃에서 2일 동안 숙성할 경우 저온에서 7-14일 숙성시킨 것과 동일한 연도를 생산한다고 보고하였다. Petaja 등(1985)도 도살 후 37℃에서 3시간 숙성시킨 것이 도살 후 0-2℃에서 숙성한 쇠고기보다 보다 훨씬 연하였다고 보고하였다.

Table 2. Shear force values (kg) of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without electron-beam treatment stored for 9 days at different temperatures

Days	Non-irradiated	Irradiated			
		5℃	1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃
0	1.90 ^a	1.98 ^a	1.67 ^d	1.76 ^a	1.57 ^c
2	1.54 ^a	1.48 ^a	1.24 ^d	1.66 ^a	1.48 ^a
4	1.73 ^a	1.79 ^a	1.61 ^d	1.64 ^d	1.71 ^a
6	1.71 ^a	1.68 ^a	1.49 ^d	1.60 ^a	1.30 ^d
9	1.60 ^a	1.45 ^a	1.33 ^a	1.88 ^c	1.61 ^c

a, b, c: Means within a row with different superscript letters are significantly different (P<0.05)

다. 육색의 변화

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 신선육의 육색 변화는 표3에 나타나 있다. 객관적인 방법에 의한 육색분석 결과 저장 일수가 증가함에 따라 모든 시료에서 a(redness)값이 낮아지는 경향을 보였고, 전자선 조사 시료의 a값이 전자선 조사하지 않은 시료보다 더 낮게 나타났으며, 3.0kGy시료가 1.5kGy시료보다 더 낮은 a값을 나타내었다. 한편, 20℃에서 숙성시킨 시료의 경우, 5℃시료보다 다소 낮은 경향을 나타내었다. 즉, 전자선 처리 유무와 고온 숙성 온도는 식육의 a값에 유의성 있는 영향을 주었다. 그러나 L(lightness)값과 b(yellowness)값은 대조구와 조사 시료가 유사하였으며, 저장 일수에 따라 일관적인 변화는 나타나지 않았다. 저장 기일, 조사선량, 온도가 증가할수록 신선육색은 쉽게 갈색으로 변화하였다.

육색에 대한 주관적인 관능 검사 결과는 표4에 나타나 있다. 관능 검사 결과 전자선조사처리구와 20℃ 숙성 시료의 육색은 다른 시료의 육색에 비해 낮은 관능 검사치를 나타내었다($p < 0.05$). 이러한 결과는 숙성 온도뿐만 아니라 전자선 조사가 육색에 크게 영향을 주는 것을 의미하며 객관적인 분석 결과와 일치하였다. 대조구의 육색은 저장기간동안 다른 처리구보다 비교적 우수한 관능검사치를 유지하였으나 다른 시료들은 저장 기간에 따라 낮은 관능검사치를 나타내었다. 이러한 결과는 Luchsinger 등(1996)이 호기적 포장에서 색의 안정도가 저하되고, 또한 저장 기일이 길어졌을 때 변색이 일어난다는 보고와 유사한 결과로 사료된다.

Table 3. Color values of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without electron-beam treatment stored for 9 days at different temperatures

Days	Non-irradiated	Irradiated				
		5℃	1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	L	35.59	37.04	35.87	33.72	35.24
	a	20.72 ^a	15.41 ^o	13.39 ^o	11.79 ^o	10.93 ^o
	b	9.16	7.74	7.65	6.09	6.25
2	L	35.47	36.82	38.75	36.57	38.47
	a	18.98 ^a	14.21 ^o	11.76 ^c	10.22 ^c	10.24 ^c
	b	8.58	8.44	7.27	7.77	8.81
4	L	36.56	37.40	40.30	38.02	38.98
	a	19.19 ^a	14.17 ^o	10.68 ^c	10.94 ^c	9.25 ^c
	b	8.44	8.02	8.88	7.86	8.68
6	L	36.57	38.04	37.55	37.80	37.80
	a	12.58 ^a	12.24 ^a	9.83 ^o	9.55 ^o	7.68 ^c
	b	6.51	8.29	7.85	8.00	8.14
9	L	34.15	40.46	38.79	39.36	37.08
	a	17.69 ^a	10.91 ^o	11.93 ^o	9.59 ^o	10.29 ^o
	b	5.36	9.47	7.81	8.86	8.23

a, b, c: Means within a row with different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$)

Table 4. Sensory score of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef stored for 9 days at different temperatures

Items	Days	Non-irradiate	Irradiated			
		d 5℃	1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
Color	0	9.5 ^a	6.7 ^b	4.6 ^c	5.6 ^b	4.2 ^c
	2	8.7 ^a	4.8 ^b	5.4 ^b	4.3 ^b	3.8
	4	5.3 ^a	4.9 ^a	5.0 ^a	4.5 ^b	4.3 ^b
	6	8.1 ^a	5.9 ^b	6.6 ^b	4.8 ^b	3.7 ^c
	9	8.7 ^a	3.8 ^c	5.3 ^b	3.1 ^c	3.9 ^c
Tenderness	0	6.4	6.1	6.1	6.4	6.0
	2	5.5	4.6	6.9	5.6	4.8
	4	6.1	6.3	6.6	5.6	5.5
	6	4.8	6.0	6.4	6.6	5.0
	9	5.6	5.1	5.3	4.4	3.6
Juiciness	0	6.7	5.5	6.6	6.2	6.5
	2	6.0	4.5	6.8	5.2	4.9
	4	5.7	6.1	6.4	5.1	5.0
	6	5.3	5.2	6.1	6.4	4.6
	9	4.9	4.4	4.3	4.5	3.9
Flavor	0	8.4	7.0	6.1	6.7	6.3
	2	6.1	4.4	6.2	5.8	6.0
	4	6.0	5.3	6.0	5.5	5.2
	6	5.2	6.0	5.8	6.1	5.7
	9	5.6	5.2	5.6	5.6	4.5
Overall acceptability	0	7.6	7.1	6.3	6.2	6.0
	2	6.1	4.4	7.0	5.0	5.7
	4	6.0	5.6	5.6	5.6	4.7
	6	5.2	6.0	6.4	6.3	5.0
	9	5.3	4.4	5.1	5.1	4.3

a, b, c: Means within a row with different superscript letters are significantly different (P<0.05)

라. 기타 관능 검사의 결과

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 신선육 풍미의 변화는 표3에 나타나 있다. 저장 기일이 지날수록 대부분 시료에서 풍미에 대한 관능검사치는 다소 낮아지는 경향을 보였으며, 모든 시료의 풍미에 대한 관능검사값이 현저한 차이를 나타내지 않았으며($P>0.05$), 이 결과에 의하면 관능평가자들이 저선량의 전자선 조사에 따른 풍미의 차이를 감지하지 못한 것으로 사료된다. 그러나 Heath 등(1990)이 1kGy 조사 후 익힌 시료에서만 이취가 발생하지 않았고 2kGy, 3kGy의 시료에서는 전부 이취가 발생하였다고 본 연구 결과와는 상이하게 보고한 바 있다.

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 신선육 다즙성의 변화는 표3에 나타나 있다. 대조구와 조사 시료 모두 저장 기일이 증가함에 따라 다즙성에 대한 관능검사값이 전반적으로 다소 낮아지는 경향을 보였는데, 저장 6일과 9일 사이에 가장 큰 차이를 보였고, 그 중 3.0kGy-20℃시료가 9일째에 가장 낮은 수치를 보였다. 그러나 전자선 조사 유무나 고온 숙성 온도에 따른 다즙성에 대한 효과는 일관된 결과를 나타내지 않았다.

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 신선육 종합적인 수용도의 변화는 표3에 나타나 있다. 대조구와 조사 시료 모두 저장 기일이 증가함에 따라 종합적 수용도에 대한 관능검사값이 전반적으로 다소 낮아지는 경향을 보였으나, 그러나 전자선 조사 유무나 고온숙성온도에 따른 종합적 수용도에 대한 효과는 일관된 결과를 나타내지 않았다.

마. 신선육 지방산화의 변화

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 신선육의 TBA 변화는 표5에 나타나 있다. 3.0kGy시료의 경우 숙성 온도에 관계없이 대조구와 1.5kGy시료에 비해 저장 2-4일째에 높은 흡광도를 나타냈었는데, 이는 Heath 등

(1990)이 300krad를 조사한 시료의 TBA값이 100krad, 200krad 조사시료의 TBA값보다 높은 경향을 보고하여 조사선량에 따라 TBA값이 증가된다는 본 연구의 결과와 일치하였다. 한편, 1.5kGy-20℃시료는 저장 6일째에 높은 수치를 보였고, 5℃시료의 흡광도가 20℃시료보다 다소 낮은것으로 볼 때 숙성온도가 높을수록 지방산화를 촉진하는것으로 나타났다. 전반적으로 모든 시료에서 저장기일에 따라 TBA값이 서서히 증가하는 경향을 보였다. Lee 등(1996)은 조사량(0, 2kGy)과 온도설정(2℃, 15℃, 30℃)과는 관계없이 모두 증가 경향을 보이고, 특히 대조구에서 급격한 증가 경향을 보였다고 발표하였다. Luchsinger 등(1996)은 TBA 값은 2.5kGy 조사시 7일째에 한계치(1.0)를 넘어섰고, 1.5 kGy는 14일에 넘어섰다고 보고하기도 하였다.

Table 5. TBA value of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without irradiation treatment stored for 9 days at different temperatures

Days	Non-irradiated	Irradiated			
		5℃	1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃
0	0.233	0.173	0.304	0.242	0.359
2	0.305	0.352	0.370	0.589	0.628
4	0.282	0.562	0.562	0.712	0.832
6	0.626	0.484	0.745	0.932	0.858
9	0.399	0.660	0.718	0.985	0.692

바. 총균수의 변화

전자선 조사 선량과 숙성 온도에 따른 신선육 총세균수의 변화는 표6에 나타나 있다. 저장 0일에 대조구와 1.5 kGy 시료의 초기 균수에 별다른 차이($\times 10^3$ 정도)를 보이지 않았으나, 3.0 kGy시료는 대조구나 1.5 kGy에 비해 다소 미생물수가 낮게 나타났다.

20℃숙성 시료에서는 1.5 kGy나 3.0 kGy 조사 처리된 시료 모두 2일째에 10^7 정도를 나타내 4일째에는 부패 수준에 이르렀다. 따라서, 이러한 결과는 전자선 조사 처리가 고온 숙성 쇠고기의 표면 미생물의 살균에 효과적이지 못하다는 것을 의미한다. 정 등(1997)에 의하면 3.0 kGy 수준의 감마선 조사 처리한 쇠고기 시료를 5℃나 20℃에 숙성하였을 경우에도 저장 8일동안 모두 낮은 세균수($\times 10^2$)를 유지하여 매우 효과적이었다고 보고한 바 있다. 이러한 결과는 Lee 등(1996)이 조사(2kGy)는 숙성 초기에 많은 미생물수의 감소를 가져오나 저장중에는 숙성온도(5℃, 15℃, 30℃)에 주로 영향을 받는다는 발표와 유사하였다. Minks와 Strin (1972)도 저장 온도에 따른 미생물 수는 4.4℃에서 0℃보다 5.34배 많았다고 발표하였다.

Table 6. Total bacterial counts of *Semitendinosus* muscle of Hanwoo beef with or without irradiation treatment stored for 9 days at different temperatures

Days	Non-irradiated 5℃	Irradiated			
		1.5kGy-5℃	1.5kGy-20℃	3.0kGy-5℃	3.0kGy-20℃
0	2.8×10^3	1.4×10^3	3.9×10^3	8.8×10^1	8.1×10^2
2	8.6×10^3	2.4×10^3	6.8×10^1	1.1×10^3	4.0×10^1
4	1.6×10^3	5.1×10^3	1.8×10^{11}	1.2×10^3	6.2×10^3
6	1.9×10^3	5.0×10^3	TNTC	1.6×10^3	1.6×10^{11}
9	8.8×10^{10}	8.2×10^3	TNTC	3.7×10^1	TNTC

* TNTC :Too Numerous To Count

제 3 절 감마선, 전자선 조사가 쇠고기중 병원성 미생물 생장에 미치는 효과

1. 서 론

식생활 수준의 향상으로 식품의 안전성에 대한 관심이 높아짐에 따라 식품의 품질과 위생이 중요시되고 있다. 식생활 수준의 향상으로 양적 섭취보다는 질적 섭취로 식생활이 변화하였으며, 이에 따라 동물성 식품의 섭취가 증가하고 있다. 쇠고기와 같은 축산식품은 영양학적으로 균형된 우수한 식품이지만, 병원성 미생물이나 부패미생물 등의 증식에 적합한 조건을 갖추고 있어, 변패가 쉽고 식중독 유발의 원인이 되기도 한다. 또한 WTO시대 하에서 최근 쇠고기의 국제적인 통상이 급증하고, 냉동육보다는 냉장육에 대한 선호도가 높아지면서 교역되는 쇠고기의 안전성에 관한 관심이 증대되고 있다. 이러한 동물성 신선식품의 품질 및 위생적 안전성 확보가 필요함에 따라, 기존의 식품저장·가공방법들의 한계성을 보완하고, 식품의 자연적 성질을 크게 변화시키지 않으면서 살균에 효과적인 방사선 조사와 같은 비가열살균방법 등의 새로운 식품저장·가공기술의 필요성이 부각되고 있다. 방사선 조사는 식품산업에 있어서 식품가공원료 및 가공제품의 위생화와 안전저장/유통 개선등 여러 분야에 효과적으로 활용할 수 있으며, 기존의 방법에 비하여 에너지의 소요가 월등히 적어 경제적인 측면 뿐만 아니라 미생물학적 안전성, 품질 유지면에서도 장점을 지니고 있다. 특히, 방사선 조사식품의 미생물학적 안전성은 국제과학단체에 의해 오랜 기간 연구되어 왔으며, 식품에 대한 방사선의 이용방법 또한 그 안전성과 실용성에 관련하여 오랜 기간에 걸쳐 연구되었고, 그 타당성이 검토되었다.

축산식품에서의 저수준 방사선 조사의 사용은 주로 미생물학적 부패를 억제하여 저장성을 증가시키고, 병원성 미생물 사멸을 촉진하여 식품 안

전성을 성취하는데에 그 목적을 두고 있으며, 조사에 의해 제품의 유통 기한이 유의적으로 연장될 수 있다. 최근 쇠고기에 오염된 병원성 대장균 O157:H7에 의한 식중독이 미국을 비롯한 세계 각국에서 문제시되었고, 방사선 조사기법이 이러한 식중독 세균의 제거에 효과적인 방법으로 대두되고 있다. 1997년 미국 식품의약품청(Food and Drug Administration)에서는 쇠고기 신선육에 방사선 조사 처리를 허용하여 신선 가금육 뿐만 아니라 쇠고기도 방사선조사처리가 허용되었으며, 우리 나라 1997년에 쇠고기 및 유제품에서 *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*가 검출된 사건이 발생되어 쇠고기 중에 병원성미생물에 대한 관심이 부각되면서 비가열 살균방법의 필요성이 증가되고 있다.

방사선 조사의 식품 안전성 성취에 대한 효과는 미생물의 종류나 오염 정도, 방사선에 대한 미생물의 상대적 내성, 온도, 포장내의 공기조성, 식품첨가물의 존재여부, 식품의 성질 등에 따라 다양하며, 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. Lawrie의 연구(1974)에서는 방사선 조사와 항생제가 미생물에 의한 부패를 억제하는데 효과가 있다고 하였다. Lebepe 등의 연구(1990)에서는 돼지고기를 진공상태서 3 kGy로 감마선 조사 처리하여 분석한 결과 조사처리가 되지 않은 고기의 저장기간이 41일 인데 비해, 조사처리된 고기는 저장기간이 90일로 연장되었고, 또한 Murano 등의 연구(1995)에서는 간 쇠고기를 진공상태에서 2.0 kGy로 조사처리하여 실험한 결과, 냉장상태서 60일간 저장한 후에도 부패되지 않았다. Mattison 등의 연구(1986)에서는 진공포장된 돼지고기를 감마선 1kGy로 조사하여 4℃에서 2, 7, 14, 21일을 저장한 후 미생물을 분석한 결과, 조사처리된 시료에서는 중온균이나 혐기성세균 등의 수가 감소된 반면, 조사처리를 하지 않은 시료에서는 냉장 저장을 하는 동안 균수가 증가되었다. Fu 등의 연구(1994)에서는 2.2 kGy로 조사처리된 pork chop에서의 호기성 미생물의 총수는 검출가능한 수준 이하였으며, 제품이 27℃에 노출된 상태라 할지라도 1.0 log₁₀이하로 잔류하였다. 한편

Shamsuzzaman 등(1995)의 연구에서는 진공포장육을 전자선 1.0, 2.0, 3.0 kGy로 조사처리하여 71.7℃로 저온조리를 한 후, 8℃로 저장하는 동안 미생물을 분석한 결과, 저장 기간이 8주간 연장되었다. 또한 Luchsinger 등(1996)은 뼈 없는 돼지고기 조각을 진공포장과 공기통과포장으로 나누고, 전자선 1.5 또는 2.5 kGy로 조사를 한 후 1~5℃에서 냉장저장을 하고, 2.5 또는 3.85 kGy로 조사한 것은 -20~-14℃로 냉동 저장 하였을 때 -17℃에서 냉동시킨 진공포장된 전자선 조사 시료가 색과 산패, 미생물 수에 대해 다른 시료보다 안정하다고 발표하였다.

국내에서 현재 사용되고 있는 감마선 조사는 주로 건조식품에만 사용되고 있고 신선축산물에는 이용되지 않고 있으며, 또한 외국의 경우 전자선 조사 처리를 식육에 적용하기 위한 연구가 다소 이루어져 있는 반면, 우리 나라에서는 저수준 전자선 살균을 쇠고기 신선육에 적용한 실험이 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 감마선 및 전자선 조사 처리가 위생상 문제를 야기할 수 있는 *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*와 같은 주요 병원성 미생물과 부패 미생물인 *Shewanella putrefaciens*의 생장에 미치는 효과를 조사하고, 감마선 조사나 전자선 조사와 같은 전자기 방사선(electromagnetic radiation)을 이용하여 단기간 내에 쇠고기의 고온 숙성을 시켜 품질을 향상시키고자 하였다.

2. 연구사

가. 식육의 위생

식육은 미생물이 증식할 수 있는 각종 영양소와 좋은 조건을 갖추고 있는 식품이기 때문에 미생물이 쉽게 증식할 수 있으며, 미생물의 증식에 의해 품질이 크게 저하될 수 있을 뿐만 아니라, 식중독이나 질병을 유발하는 원인이 되기도 한다. 식육의 미생물 오염은 도축과 가공과정 중에 빈번히 일어나며, 특히 가축의 가죽, 피부, 털, 발굽, 내장 등은 오염의 가능성이 크고, 또한 도체를 취급하는 작업장 표면, 물, 토양 등의 주위 환경이나 분변으로부터 오염된 작업원의 손, 칼, 수건, 가축들간의 접촉에서 유래되는 미생물에 의해 오염될 수 있다. 식육에서 문제가 되는 박테리아는 주로 육표면에서 성장하지만, 미생물학적 활성이 좋은 박테리아는 식육의 심부조직에도 도달할 수 있으므로 칼 등이 오염되지 않도록 주의하여야 한다. 또한 도축과정을 마친 지육, 박피한 가죽, 가공공장의 바닥이나 벽에 존재하는 식육의 주요 부패균인 저온성 미생물에 오염되지 않도록 취급에 주의하여야 한다.

식육의 미생물 오염정도와 오염미생물의 종류는 도살 및 해체시의 오염과 그 후 처리, 저장 및 유통과정 중의 미생물 성장조건에 의해 결정된다. 식육의 미생물은 주로 육의 표면과 소화관에 존재하며, 일반적으로 신선한 식육의 표면에 존재하는 세균수는 $10^3 \sim 10^5$ CFU/cm² 정도이며, 소화관 내부에 존재하는 세균수는 $10^8 \sim 10^{10}$ CFU/ml 정도이다. 최근 미국의 식품안전검사국(Food, Safety and Inspection Service, FSIS)에 의한 연구에서 육류와 가공육의 표면미생물은 aerobic plate count, Coliforms, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* 순으로 분포되어 있는 것으로 나타났다. 식육은

각종 세균에 오염되어 식중독이나 식품질환을 유발할 수 있으며, 대표적인 세균으로는 *Salmonella*, *Vibrio*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum*, *Bacillus cereus*, *Proteus*, *Yersinia*, *Campylobacter*, *Shigella* 및 mycotoxin 등이 있다. 특히 병원성 미생물은 살아 있는 동물의 체내로 들어와 특정 기관에 위치하면서 제거되기 전까지 존재하며, 도축과정동안 다른 기관으로 전이될 가능성이 있으므로 제거되어야 한다. 또한 오염을 줄이기 위해서는 오염원을 막아야 하는데, 미생물 오염을 막기 위해서는 다음과 같은 환경을 유지하는 것이 중요하다. 미생물의 영양원을 차단하기 위해 종업원의 의복, 제조기구, 용기, 작업장바닥, 벽 등에 묻은 찌꺼기나 작업장 밖에 있는 폐기물, 폐수 등의 관리에 신경을 써야한다. 또한 작업장을 비롯한 제조환경의 온도가 높으면 미생물 번식이 용이하므로 불필요한 온도상승에 주의를 기울여야 하며, 작업장의 최저온도 유지에 신경을 써야 한다. 온도와 더불어 습도도 미생물 번식에 큰 영향을 미치므로 작업중에 발생하는 수증기가 벽이나 천장에 응축되거나, 바닥에 폐수가 정체하지 말아야 한다.

나. 식육의 부패 및 변질

식품의 변형, 흡습, 건조 등 물리적인 변화는 식품의 변질과는 직접적인 관계는 없지만 미생물의 침입 또는 번식의 원인이 될 수 있다. 이와 같은 여러 가지 현상으로 식품의 성분이 변화하여 영양소가 파괴될 뿐만 아니라 향기와 맛을 손상하여 식용이 불가능하게 되는데 이런 현상을 변질이라고 한다. 가장 일어나기 쉬운 변질은 미생물의 증식에 의해 단백질이 아미노산을 생성하고 다시 아미노산이 amine, ammonia, mercaptane, H₂S, CO₂, H₂, CH₂ 등을 생성하는 것인데, 이러한 현상을 부패라고 한다. 동물성 식품이 부패되기까지의 과정은 대략 사후강직, 자

기소화, 부패의 순서로 나눌수 있고 선도가 점차로 저하됨에 따라 부패에 이르게 된다. 자기소화는 조직 내의 효소에 의하여 일어나는 분해반응에 반하여 부패(putrefaction)는 외부에서 침입한 세균에 의한 분해반응이다. 부패에 관여하는 미생물은 여러 종류가 관계되나 특히 단백질 분해력이 강한 부패세균이 주가 된다. 부패균은 식품에 따라 그 종류가 다르나, 주로 혐기성 세균인 *Clostridium* 속, 호기성 세균인 *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Proteus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Serratia*, *nterococcus*, *Escherichia*, *Aerobacter* 등이 있으며, 가열된 후에도 호기성 부패균이 관여한다.

동물이 도축되고나면, 미생물이 집중되어 존재하는 림프선으로부터 도체의 오염이 시작되고, 도축 후 근육의 방어기능이 정지되거나 취약해져 미생물이 근육 전체에서 쉽게 증식될 수 있다. 또한 방혈, 도살처리 등 가공과정 중에 외부로부터의 오염이 중요한 원인으로 나타나고 있다. 이러한 원인들에 의해 신선한 식육은 상하기 쉽기 때문에 얼음이나 냉장고(0~4℃)에 저장을 하게 된다. 그러나, 식육의 냉장저장은 식육의 부패를 막고, 식중독 예방에 좋은 방법이긴 하나, 냉장저장이 미생물의 성장속도를 제한하거나 유도기를 연장할 수는 있지만, 미생물의 증식을 억제할 수 없기 때문에 식육을 냉장보관하여도 미생물에 대한 문제는 발생한다.

냉장중 식육에 쉽게 발육하여 부패를 일으키는 것은 슈도모나스(*Pseudomonas*)를 비롯한 많은 저온성 미생물들, 특히 호기성 박테리아와 곰팡이 효모등이다. 이것들은 식육표면에 쉽게 증식하여 식육의 변색과 이취발생의 원인이 된다. 많은 부패미생물들은 포도당을 이용하며, 포도당이 모두 소모되면 아미노산을 이용하여 부패취의 원인이 되는 암모니아와 황화합물을 방출한다. 특히, *Pseudomonas*는 호기적 상태의 저온에서 포도당을 이용하여 빠르게 증식하며, 표면 세균수가 10^8 CFU/㎖을 초과하면 포도당이 고갈되어감에 따라 아미노산을 이용하여 암모니아,

indol, skatol 등을 생성하고 불쾌취를 형성하므로 육류의 부패에 있어서 이들의 성장은 중요하다.

식육의 부패는 식육의 표면이나 내부에서 자라는 미생물이나 미생물의 대사산물 때문에 나타난다. 대부분의 부패는 식육의 표면에서 발생되는데 미생물의 수와 종류에 따라 식육 부패의 특성을 좌우한다. 식육의 부패는 일반적으로 차이는 있으나 식육 표면 cm^2 당 $10^6 \sim 10^8$ 정도의 미생물 수준에서 발생되며, 주로 불쾌취 발생, 점액성과 변색등이 있다. 단백질 분해는 불쾌취나 점액성 이전에는 발생되지 않는다. 부패를 나타내는 대표적인 징후는 첫째, 통상적으로 식육의 표면에 호기성세균의 증식에 의한 불쾌취나 점액생성으로 10^6 CFU/g 정도이면 부패취를, $10^7 \sim 10^8$ CFU/ cm^2 이면 점질층을 형성한다. Ayres는 육의 표면 세균수가 $10^{7.0} \sim 10^{7.5}$ CFU/ cm^2 일 때 부패취를 발생하였으며, $10^{7.5} \sim 10^{8.0}$ CFU/ cm^2 일 때 점질층을 생성하였다고 보고하였다.

둘째, 미생물 증식이 어려운 수분활성도 조건에서 성장하는 곰팡이 증식을 들 수 있고, 셋째, 혐기성균이나 통성균(facultative microorganisms)에 의한 근육속 부패, 넷째, 육색소인 myoglobin의 변질에 의한 변색 등이 있다.

식육의 부패속도는 식육에 존재하는 미생물의 종류와 수, 저장조건 및 기타 특성(pH, 수분활성도)에 따라 좌우된다. 일반적으로, 가축의 도체 외부는 미생물의 성장을 최소화 할 수 있는 지방이나 결체조직으로 덮여 있다. 따라서 표면미생물은 절단부위에서 주로 많이 자라게 되고, 세절육의 경우 육표면이 커지게 되며, 세절공정 중에 세절육 전체가 미생물에 의해 오염될 수도 있다. 식육의 저장온도는 부패 결과와 식육내 대표적인 미생물을 결정하는 가장 중요한 요인이다. 예를 들면 50°C 이상의 온도에서는 내열성 세균이 잘 자랄것이다. 식육의 냉각이 지연되면 식육의 온도는 $15 \sim 25^\circ\text{C}$ 가 되고 이 온도 범위에서는 중온성 부패균이 주로 자라게 된다. 중온성 부패균은 빠르게 증식되고 식육내에서 부패를

발생시킨다. 신선육의 생화학적 미생물학적 변화를 줄이기 위해서는 약 0℃ 부근에서 식육을 저장해야 한다. 이러한 낮은 온도에서는 부패를 최소화 할 수 있다.

다. 식육 중의 주요 병원성 미생물

식육을 통해 야기되는 식품질환은 주로 식육을 취급, 조리 및 소비하는 과정에서 온도관리를 잘못할 때 발생하는 병원성 미생물의 성장과 독소 생성에 기인하며, 식육에 있어 몇몇 병원성 미생물은 식중독을 유발할 가능성이 커서 문제가 된다. 신선육에서 주로 발견되는 병원성 미생물로 섭취되어 감염을 일으킬 수 있는 세균으로는 *Salmonella*, *Campylobacter*, *C. perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *E. coli* O157 : H7, *Vibrio* 등이 있다.

미생물에 의하여 발생하는 식중독은 식품공업이라든가 식품서비스업에 있어서 점차적으로 중요한 문제로 대두되고 있다. 대부분의 국가가 식인성 질병, 특히 salmonellosis, campylobacteriosis, listeriosis 등에 의해 어려움을 겪고 있기 때문이다. 미국에서는 연간 650~3,300만건의 식인성 질병이 발생되고, salmonellosis의 경우만도 연간 2백만명의 환자가 발생되어 254,000만불의 경제적 손실이 초래된다고 한다.

최근에는 쇠고기에 오염된 병원성 대장균 O157:H7에 의한 식중독이 미국을 비롯한 세계 각국에서 문제시 되었고, 우리나라에서도 1997년에 쇠고기 및 유제품에서 *E. coli* O157:H7과 *Listeria monocytogenes*가 검출된 사건이 발생되어 쇠고기중에 병원성미생물에 대한 관심이 부각되고 있다.

병원성 *Escherichia coli*는 주로 개발도상국의 불량한 위생조건에서 발생하는 균이지만 1985년 9월 *Escherichia coli* O157 : H7 식중독 사건이 발생한 이후 중요성이 부각되었다. 병원성 *E. coli*는 Enterotoxigenic,

Enteroinvasive, Hemorrhagic, Enteropathogenic의 4가지로 분류할 수 있다. Enterotoxigenic 종은 열에 강한 독소(heat-stable toxin)와 열에 약한 독소(heat-labile toxin)를 생성하는데 증상은 설사, 구토, 탈수로 콜레라와 유사하다. Enteroinvasive *E. coli*는 결장의 상피세포를 침해하여 증상이 나타나는데 주로 발열, 오한, 두통, 복통, 설사로 Shigellosis와 유사하다. Hemorrhagic *E. coli*는 최근 O157 : H7 종에 의해 출혈성 장염을 일으키는 균이다. 주로 혈변 설사와 심한 복통을 유발한다. 어린이들에게는 용혈성 요독증과 급성신부전증이 발생하기도 한다. Enteropathogenic *E. coli*는 아직 발병의 기작이 밝혀져 있지 않으나 주로 유아들의 설사를 초래한다. *Escherichia coli* O157 : H7 식중독은 출혈성 대장염이라는 급성질환을 유발하며, 덜 익힌 햄버거에서 주로 발병되고, 기타 육제품 및 원유에 의해서도 발병된다. 식품 중에 병원성 *E. coli*의 관리는 대장균군으로 관리를 하는데 식품의 가열 조리를 바르게 하고, 2차오염의 예방에 최선을 다하여야 할 것이다.

1980년까지 리스테리아증(Listeriosis)은 가축의 질병으로만 관심이 있었으나, 그 후 용혈성인 *Listeria monocytogenes*가 식중독균으로 중요성이 부각되었다.

*L. monocytogenes*균은 그람양성, 저온성, 운동성이 있는 균으로 포자는 형성하지 않는다. 적 정성장온도는 30~37℃이고 3~4℃의 냉장온도에서 잘 자란다. 성장 pH 범위는 5.0~9.0이고, 4℃의 포화염용액에서 자랄 수 있다. *L. monocytogenes*균은 토양, 식물, 물 등 모든 자연 도처에 분포되어 있다. *L. monocytogenes* 균은 우유를 71.7℃에서 15초간 가열하여도 살아남을 수 있으나 76.4~77.8℃에서 15.4초간의 살균에서는 사멸될 수 있다. 리스테리아증의 대부분은 콜슬로, 우유, 치즈, 소세지, 감각류, 패류등과 같은 제품에서 발병되며(Cantoni 등 1989, Centers for Disease Control 1989, Pearson and Marth 1990), 이 균은 3℃에서 냉장된 식품에서도 잘 자란다.

라. 동물성 식품에 대한 조사효과

동물성 식품은 부패 및 공중보건과 관련된 다양한 미생물을 포함하고 있다. 주요 병원균으로는 *Salmonella spp*, *Escherichia coli*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Yersinia enterocolitica* 등이 있으며 이들은 심각한 건강상의 위해 및 의료비, 노동력의 손실을 초래하였다. 이러한 미생물 부패를 조절하기 위해 가열, 냉동, 냉장, 건조, 염장, 훈연, 진공포장, 가스포장, 통조림가공 등의 방법이 사용되어 왔으며, 특히 방사선 조사는 동물성식품의 초기 미생물수를 감소시킴으로써 저장기간을 연장시킬 수 있다. 또한 감마선 조사가 육류 및 육류제품에서 관능적, 영양적 품질을 보존하면서 특별한 병원균을 제거할 수 있는 대안책으로 제공되었다(Niemand 등 1981, Thayer 등 1986, Skala 등 1987, Thayer 등 1993).

Katta 등에 의한 연구(1991)에서는 닭고기를 감마선 2.0 kGy로 조사한 후 분석한 결과 99%의 미생물군이 제거되었다.

Cho 등(1985)은 닭고기에 감마선 10 kGy 수준까지 조사한 경우 저장기간이 2~3주간 연장되었다고 보고하였고, 또한 Mossel 등(1977)은 1~5 kGy 까지의 감마선 조사 수준이 닭고기 Carcasses 중의 *Salmonella* 제거에 효과적이었다고 보고하였다.

Thayer 등(1993)은 진공포장한 신선한 돼지고기를 감마선 0.57, 1.91, 3.76, 5.52, 또는 7.25 kGy로 조사하여 2℃에서 1, 7, 14, 21, 28, 25일간 저장한 후 호기성 또는 혐기성 중온균의 존재 및 수를 분석한 결과, 1.91 kGy 이상에서는 35일까지 냉장저장한 후에도 잔류하는 미생물군이 검출되지 않았고, 0.57 kGy로 조사처리한 시료에서는 *Staphylococcus*, *Micrococcus*, 효모 등이 우세하게 자랐다고 보고하였으며, Mattison 등(1986)은 진공포장된 돼지고기를 감마선 1kGy로 조사하여 4℃에서 2, 7, 14, 21을 저장한 후 분석한 결과, 조사처리된 시료에서는 중온균이나 혐기성세균 등의 수가 감소된 반면, 조사처리를 하지 않은 시료에서는 냉

장 저장을 하는 동안 균수가 증가하였다고 보고하였다.

1) 병원성 미생물에 대한 조사효과

최근 식중독과 관련하여 문제시 되고 있는 *Escherichia coli* O157 : H7 과 *Listeria monocytogenes* 의 방사선 조사의 감수성에 대한 연구들은 다음과 같다.

권 등(1997)은 *Escherichia coli* O157:H7의 살균을 위한 감마선과 가열 처리의 효과를 알아보는 연구에서 *E. coli* O157:H7 균주를 방사선 단독 및 가열(10분)과 병용처리하여 실험한 결과 D_{10} 값으로 나타낸 방사선 감수성은 방사선 단독시는 0.116 kGy, 가열과 병용처리시는 약 0.07 kGy로 나타났다고 보고하였다. 또한 *E. coli* O157:H7 균주를 살균된 우유에 오염, 동결시켜 전자선에 대한 감수성을 조사한 연구에서 *E. coli* O157:H7 균주의 D_{10} 값과 12 D_{10} 값은 0.45와 5.4 kGy로 각각 나타났으며, 불활성화 계수는 3~5 kGy 조사로써 6.67~11.11 log Cycle을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 전자선 조사는 동결육에 오염된 *E. coli* O157:H7 균주의 제거에 매우 효과가 있었다고 보고하였다.

FU 등(1997)은 쇠고기 스테이크를 감마선 조사 후 품질 변화와 *Escherichia coli* O157:H7의 잔존을 알아보는 실험에서 쇠고기 스테이크에 *Escherichia coli* O157:H7을 10^5 CFU/mL로 접종한 후, 진공 포장 또는 공기포장하여 감마선 0.60, 0.80, 1.5, 2.0 kGy로 조사한 다음 7℃에서 7일, 25℃에서 2일간 저장하여 분석한 결과, *Escherichia coli* O157:H7는 1.5 kGy에서는 모두 불활성화 되어 저장기간동안 불검출되었으며, 0.6kGy에서는 1 logCFU/g가 감소되었으나 7℃와 25℃에서 저장하는 동안 미생물이 서서히 증식되었다고 보고하였다.

Clavero 등(1994)은 간 쇠고기에 *Escherichia coli* O157:H7을 접종한 후 공기포장하여 감마선 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 kGy로 조사한 다음 냉동(-17℃~-14℃) 또는 냉장(2℃~5℃) 상태에서 12~14시간 저장

하여 분석한 결과, *Escherichia coli* 0157:H7이 감마선에 상당히 민감하였고, 2.5 kGy에서는 $10^{8.1}$ CFU/g 까지 불활성화 시킬수 있다고 보고하였다.

1980년대 이후 식중독균으로 문제시 되고 있는 *Listeria monocytogenes*는 냉장온도에서도 잘 증식할 수 있기 때문에 즉석냉장식품에 관여하여 식인성질병을 일으킬 수 있으며, Rodmamski 등(1994)은 냉장유제품이나 신선육에서 *Listeria monocytogenes*를 발견할 수 있으며, 0.4~0.6 kGy 수준의 감마선 조사 처리에 의해 증식을 감소시킬수 있다고 보고하였다.

Huhtanen 등의 연구(1989)에 의해 감마선 조사가 *Listeria monocytogenes*의 통제에 효과적임이 밝혀졌고, 감마선 또는 전자선과 같은 방사선 조사 처리방법이 육류에서 *Listeria monocytogenes*를 제거하는 방법으로 제안되었다. (Beuchat 등, 1993; Grant and Patterson, 1992; Huhtanen 등, 1989; Patterson 등, 1993)

FU 등(1995)은 조리된 돼지갈비와 보존처리된 햄의 방사선 조사 후 품질 특성 및 *Listeria monocytogenes*와 *Salmonella typhimurium*의 잔존에 대하여 알아보는 실험에서 보존처리된 햄에 *Listeria monocytogenes*를 10^5 CFU/mL로 접종한 후 공기포장하여 감마선 0.75, 0.9, 1.8, 2.0 kGy로 조사한 다음 7℃에서 7일, 25℃에서 2일간 저장하여 분석한 결과, 7℃ 저장시료는 0.75, 0.9 kGy에서 2logCFU/g 이상 감소되었고, 1.8, 2.0 kGy에서는 모두 불활성화 되었다고 보고하여 감마선 조사가 이런 식인성 병원균의 통제에 효과적임을 밝혔다.

2) 부패미생물에 대한 조사 효과

방사선 조사가 부패미생물에 미치는 효과에 대한 연구 보고들은 다음과 같다. Kahan과 Howker의 연구(1977)에 의하면 닭고기에 감마선 1.3, 2.0, 2.5, 2.8, 5.0, 5.6 kGy를 조사한 후 -1℃, 1.6℃, 4.4℃에서 저장하여 31일간 2일 간격으로 미생물을 분석한 결과, 저장기간은 4.4, 1.6,

-1℃에서 각각 6, 8, 14일 연장되었으며, 모든 선량에서 적어도 15일간 미생물학적 부패가 연장되었고, 4.4℃ 5.0 kGy와 1.6℃ 2.5 kGy는 효과가 비슷하였다. 조 등(1985)도 닭고기를 감마선 5.0, 8.0, 10.0 kGy로 조사하여 3~4℃에서 41일간 저장하면서 저온균, 중온균, 고온균의 생육 상태를 분석한 결과 대조구의 중온균, 저온균, 고온균이 각각 5.89, 5.56, 3.04 logCFU/g에 도달하는 동안 5.0~10.0 처리구는 2~4 logCFU/g 감소되었고, 저장기간은 2~4주 연장되었다고 하였다. 또한 Dempster(1985)는 쇠고기 버거에 감마선 1.03, 1.54 kGy를 조사한 후 3℃에서 0, 4, 8, 11, 15일 저장하는 동안 미생물을 분석한 결과, 총균수는 1.03, 1.54 kGy에서 각각 82%, 92%($p < 0.01$) 감소되었고, *Pseudomonas*는 모두 제거되었다고 하였다.

Niemand 등의 연구(1981)에서는 진공포장한 쇠고기 스테이크에 감마선 2.0 kGy를 조사한 다음 4℃에서 11주 저장하면서 총균수와 *Pseudomonas*를 분석한 결과, 처리구의 총균수는 0주에 99% 감소하였다가 11주에 7.30 logCFU/g에 도달함으로써 저장기간이 약 10주 연장되었으며, *Pseudomonas*는 2.0 kGy로 완전히 파괴되어 저장기간동안 검출되지 않았다.

Ehioba 등(1987)은 돼지고기에 9종류의 저온성 부패균을 10^5 CFU/g으로 접종한 다음 진공포장하여 감마선 1.0 kGy로 조사한 후 5℃에서 0, 3, 6, 9, 12일간 저장하면서 저온성 부패균의 생육을 분석하였는데, 1.0 kGy는 대조구(30~44%)의 저장기간을 2.5~3.5일, 처리구(22~33%)의 저장기간을 1.0~1.5일 연장시켰으며, 처리구에 분포하는 주요 미생물은 그람양성균으로 5℃ 저장 9일에는 97%에 이르렀고, 12일 이후에는 *Lactobacillus*가 우세하였다고 보고하였다. 또한 Thayer 등(1993)의 연구에서는 진공포장한 돼지고기를 감마선 0.57, 1.91, 3.76, 5.52, 7.25 kGy로 조사한 후, 2℃에서 1, 7, 14, 21, 28, 35일간 저장하는 동안 저온균, 중온균, *Pseudomonas*를 분석한 결과, 0.57 kGy 이상에서는 21일째

까지 미생물의 뚜렷한 증식이 나타나지 않았고, 1.91 kGy 이상에서는 검출되지 않았다.

마. 식품조사의 향후전망

식품을 보존하고 가공하는 전통적인 방법에 비해 식품조사 기술은 전 세계적으로 더욱더 큰 관심을 불러 일으키고 있다. 미국, 영국을 비롯한 37개 선진 보건 당국은 항산화제를 비롯한 육류, 과일류에 이르기까지 거의 모든 식품의 감마선 조사를 인정하고 실제로 상업적 목적을 위해 감마선 조사공정을 이용하고 있다.

식품조사의 장점으로는 병원성 미생물을 사멸하여 식품의 위생적 품질을 보장해 주고, 채소와 과일의 발아, 완숙, 노숙을 방지하여 유통 기한을 연장시킬 수 있으며, 훈증제로 사용되어 온 화학물질의 사용대신 방사선 조사를 대체하여 이용함으로써 식품에의 잔류물 독성문제를 피할 수 있는 등 여러 가지가 있다. 식품조사의 중요한 이용법의 하나는 식품의 부패라든가 변질을 일으키는 미생물의 멸균에 있다. 미생물을 억제한다든가 완전히 없애는데 필요한 선량은 대상이 되는 미생물의 감수성과 식품의 미생물오염의 정도에 따라 결정된다. 많은 과일, 야채, 육류, 닭고기, 해산물의 보존성 연장은 냉장과 저선량조사를 병용함으로써 크게 연장할 수가 있으며, 이와같은 처리를 하여도 맛과 향에 변화는 일어나지 않는다 (식품조사 WHO 1988). 미생물에 의하여 발생하는 식중독은 식품공업이라든가 식품서비스업에 있어서 점차적으로 중요한 문제로 대두되고 있다. 대부분의 국가가 식인성 질병, 특히 salmonellosis, campylobacteriosis, listeriosis 등에 의해 어려움을 겪고 있기 때문이다. 미국에서는 연간 650~3,300만건의 식인성 질병이 발생되고, salmonellosis의 경우만도 연간 2백만명의 환자가 발생되어 254,000만불의 경제적 손실이 초래된다고 한다. Salmonella, Campylobacter,

Listeria, Yersinia 등의 식품중의 포자비생성병원균은 저선량으로 살균할 수가 있어 이와 같은 저선량조사는 이들 미생물에 의한 중대한 공중위생상의 문제를 해결하는데 대단히 유용하며, 식품의 안전성이라든가 저장성 개선에 효과적일 것이다.

식품조사의 발전에 영향을 주는 요인의 하나는 소비자의 이해와 조사식품에 대한 소비자 수용성이다. 지금까지는 핵 관계기술 주변환경 및 방사선의 사용에 대한 두려움과 오해가 주원인으로 조사식품의 상당량이 국제적인 상업에 들어가지 못하고 있는 실정이었으나 식품조사의 공법을 올바르게 인식하고 관심을 높이기 위해 FAO, IAEA, WHO가 주최하는 국제자문위원회(International Consultative Group on Food Irradiation)가 설립되어 식품조사에 관한 실증자료 시리즈를 준비하고 있다.

3. 재료 및 방법

가. 시료 준비

슈퍼마켓에서 냉장보관(1℃)된 반건양근(*semitendinosus*)을 구입하여 폴리에틸렌 백에 넣어 냉장 상태로 실험실에 옮겨온 후, 무게가 대략 25 ±1g(5cm×3cm, 두께 1cm)이 되도록 절단하여 사용하였다. 실험에 사용된 균주는 *Listeria monocytogenes* ATCC 19111과 *E. coli* O157:H7 ATCC 43888은 동결 건조된 상태의 stock culture를 국립보건원으로부터 분양 받아 사용하였고, *Shewanella putrefaciens* KCTC 2684는 유전자은행(Korean Collection for Type Cultures)으로부터 분양 받아 사용하였다.

나. 미생물 배양

1) *E. coli* O157:H7

동결 건조된 *E. coli* O157:H7 stock culture를 멸균한 1% Bacto peptone (Difco Laboratories, Detroit, MI)수 1ml에 현탁한 후, 백금이를 1회 취해 미리 준비한 Nutrient Agar에 희석분리하여 37℃에서 24시간 배양하였다. 이를 Brain Heart Infusion(BHI) Broth (Difco) 200ml에 백금을 3회 취하여 37℃에서 24시간 배양하고, 배양액을 원심분리관에 40ml씩 취해 실온에서 3500rpm으로 15분간 원심분리한 다음, 상등액은 버리고 균체부분만 모아 멸균한 Physiological Saline Solution(0.85% NaCl) 10ml에 현탁시켜 Fluorocult® *E. coli* O157:H7 Agar(Merck, Germany)에 배양하여 균체 농도를 구하고, 이를 10⁶ CFU/ml 농도로 희석하여 사용하였다.

2) *Listeria monocytogenes*

동결 건조된 *L. monocytogenes* stock culture를 멸균한 1% Bacto peptone (Difco Laboratories, Detroit, MI)수 1ml에 현탁한 후, 백금을 1회 취해 미리 준비한 Nutrient Agar에 희석분리하여 30℃에서 24시간 배양하였다. 이를 Brain Heart Infusion(BHI) Broth (Difco) 200ml에 백금을 3회 취하여 37℃에서 24시간 배양하고, 배양액을 원심분리관에 40ml씩 취해 실온에서 3500rpm으로 15분간 원심분리한 다음, 상등액은 버리고 균체부분만 모아 멸균한 Physiological Saline Solution(0.85% NaCl)에 현탁시켜 Oxford-Listeria-Selective- Agar(Merck, Germany)에 배양하여 균체 농도를 구하고, 이를 10⁶ CFU/ml 농도로 희석하여 사용하였다.

3) *Shewanella putrefaciens*(*Pseudomonas putrefaciens*)

동결 건조된 *S. putrefaciens* stock culture를 멸균한 1% Bacto peptone (Difco Laboratories, Detroit, MI)수 1ml에 현탁한 후, 백금이 될 1회 취해 미리 준비한 Nutrient Agar에 획선분리하여 30℃에서 24시간 배양하였다. 이를 Brain Heart Infusion(BHI) Broth (Difco) 200ml에 백금을 3회 취하여 37℃에서 24시간 배양하고, 배양액을 원심분리관에 40ml씩 취해 실온에서 3500 rpm으로 15분간 원심분리한 다음, 상등액은 버리고 균체부분만 모아 멸균한 Physiological Saline Solution(0.85% NaCl) 10ml에 현탁시켜 *Pseudomonas* agar F base(Merck, Germany)에 배양하여 균체 농도를 구하고, 이를 10^6 CFU/ml 농도로 희석하여 사용하였다.

다. 미생물 접종

L. monocytogenes, *E. coli* 0157:H7과 *S. putrefaciens*가 10^6 CFU/ml가 되도록 미리 준비한 접종액을 육표면에 1ml씩 도말한 후, 조사 유무에 따라 다시 대조구와 처리구로 분류하여 폴리에틸렌 비닐로 포장하였으며, 조사 전까지 포장된 모든 시료는 2℃에서 약 10시간 방치되었다.

라. 방사 선원 및 조사

감마선은 대덕원자력연구소에서 ^{60}Co (50,000 Ci) 선가속장치(Linear Accelerator Facility)로 1.5, 3.0kGy 두 수준으로 조사하였다. 선량률은 1.5 kGy일 때 0.075 kGy/h, 3.0 kGy일 때 0.15 kGy/h이었으며, 흡수된 선량은 Ceric sulfate dosimeter를 사용하여 측정되었다.

전자선은 삼성종합기술원(대전)에서 ELV-4 1 MeV 전자선 가속기 (electron-beam accelerator, Samsung Inc., Korea)로 3.0, 6.0kGy 두 수준으로 조사하였다. beam current는 3.0 kGy의 경우 3.9 mA이고 6.0 kGy

는 7.8 mA이다. conveyor system의 속도는 20m/min이며, Cellulose Triacetate(CTA) 선량계로 총흡수선량이 측정된다. 양쪽 표면을 각각 조사하였다.

마. 저장 시료의 미생물 분석

저수준의 감마선과 전자선을 조사한 후 각 시료를 5℃ 냉장고에 0일부터 8일까지 저장하면서 2일 간격으로 *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *S. putrefaciens*의 균수를 조사하였다.

1) *E. coli* O157:H7

1% peptone수 99ml를 넣은 병에 시료를 넣어 10분간 침지시켜 이를 분석 가능한 농도까지 1% peptone수로 희석한 후, 각 농도의 희석액을 미리 준비한 Fluorocult® *E. coli* O157:H7 Agar(Merck, Germany)에 도말하여 37℃에서 48시간 배양한 다음 균수를 계산하였다.

2) *Listeria monocytogenes*

1% peptone수 99ml를 넣은 병에 시료를 넣어 10분간 침지시켜 이를 분석 가능한 농도까지 1% peptone수로 희석한 후, 각 농도의 희석액을 미리 준비한 Oxford-Listeria-Selective- Agar(Merck, Germany)에 도말하여 30℃에서 48시간 배양한 다음 균수를 계산하였다.

3) *Shewanella putrefaciens*

1% peptone수 99ml를 넣은 병에 시료를 넣어 10분간 침지시켜 이를 분석 가능한 농도까지 1% peptone수로 희석한 후, 각 농도의 희석액을 미리 준비한 Pseudomonas agar F base(Merck, Germany)에 도말하여 30℃에서 48시간 배양한 다음 균수를 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

가. *E. coli* O157:H7 균수

감마선과 전자선 조사에 의한 *E. coli* O157:H7 균수의 변화는 표1에 나타나 있다. 접종하지 않은 대조구에서 *E. coli* O157:H7 균은 검출되지 않았으며, 접종 후 조사하지 않은 대조구의 *E. coli* O157:H7 균수는 저장 0일에 1.6×10^6 에서 저장 6일째까지 5.0×10^9 으로 증가하여 8일째까지 일정하게 유지되었다. 감마선 1.5, 3.0 kGy 처리구는 저장기간 동안 불검출되었다. 이것은 쇠고기에 *E. coli* O157:H7을 10^5 CFU/ml로 접종한 후, 감마선 0.60, 0.80, 1.5, 2.0 kGy로 조사하여 7℃에서 7일, 25℃에서 2일간 저장하여 분석한 결과, 1.5 kGy 이상에서는 저장기간 동안 불검출되었다는 Fu 등의 연구(1995)와 같은 결과를 보여 감마선 조사가 *E. coli* O157:H7 균의 사멸에 효과적임이 밝혀졌다.

한편 전자선 3.0, 6.0 kGy 처리구는 저장 0일에 각각 4.0×10^4 , 3.1×10^4 으로 감소하였다가 저장 8일째에 3.0 kGy는 1.3×10^6 으로, 6.0 kGy는 5.9×10^5 으로 증가하였다. 이상의 결과에서 전자선 조사도 저장 초기에 균수가 감소하였다가 점차로 회복하지만 접종하여 조사하지 않은 대조구의 균수보다는 낮게 나타나 효과가 있음을 알 수 있다. 선량별로 볼 때 큰 차이는 없었지만 3.0 kGy 보다는 6.0 kGy에서 전자선에 대한 저항성이 약간 낮았음을 볼 수 있다. *E. coli* O157:H7의 전자선에 대한 저항성을 알아보는 권 등의 연구(1997)에서는 *E. coli* O157:H7 균주를 살균된 우육에 약 10^8 CFU/ml로 접종하여 실험한 결과, D_{10} 값은 0.45 kGy로 나타났으며, 불활성화 계수는 3~5 kGy 조사로써 6.67~11.11 log Cycle을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

Table 1. Effects of γ -ray and Electron-beam treatment on the number of *E. coli* O157:H7 in the raw beef stored at 5°C for 8days

Days	Innoculated- Control	Kinds of irradiation (kGy)			
		γ -ray (1.5)	γ -ray (3.0)	E-beam (3.0)	E-beam (6.0)
0	1.6×10^9	ND ¹⁾	ND	4.0×10^4	3.1×10^4
2	1.1×10^7	ND	ND	5.0×10^4	3.4×10^4
4	1.1×10^8	ND	ND	7.3×10^4	4.8×10^4
6	5.0×10^9	ND	ND	3.5×10^5	6.7×10^4
8	9.1×10^9	ND	ND	1.3×10^6	5.9×10^5

¹⁾ ND : not detected

나. *Shewanella putrefaciens* 균수

감마선과 전자선 조사에 의한 *S. putrefaciens* 균수의 변화는 표 2에 나타나 있다. 접종하지 않은 대조구에서 *S. putrefaciens* 균은 검출되지 않았으며, 접종 후 조사하지 않은 대조구의 *S. putrefaciens* 균수는 저장 0일에 6.3×10^6 에서 저장 8일째에 2.3×10^{10} 으로 증가하였다. 감마선 1.5, 3.0 kGy 처리구는 저장기간동안 불검출되어 사멸효과가 강한 것으로 나타났다. 본 실험과 유사한 결과를 보인 Thayer 등의 연구(1996)에서는 적색육과 가금육에서 감마선에 대한 *S. putrefaciens*의 감수성을 알아보는 연구에서 MDCM(Mechanically deboned chicken meat)에 *S. putrefaciens*를 약 10^9 CFU/g이 되도록 접종하여 실험한 결과, D 값은 0.11 ± 0.002 kGy였으며, 감마선 0.5, 0.6, 0.7 kGy 수준에서 살아 있는 균들은 약 45, 64, 70% 정도가 손상을 입었고, 1.5 kGy 이상의 수준에서는 모두 제거된다고 나타내었다. 한편 전자선 3.0, 6.0 kGy 처리구는 저장 0일에 각각 5.7×10^4 , 1.3×10^4 으로 감소하였고, 저장 8일째에는

3.0 kGy 처리구는 6.0×10^6 으로 증가한 반면, 6.0 kGy 처리구는 5.0×10^5 으로 나타나 전자선은 6.0 kGy 처리구가 3.0 kGy보다 균수가 다소 낮았다. 이처럼 전자선 처리구에서 미생물의 회복과 증식이 일어난 것은 저온성 부패미생물이 잘 증식할 수 있는 호기적 조건의 냉장저장에 기인한 것으로 사료된다.

본 실험 결과 감마선과 전자선 조사는 부패 미생물 사멸 및 증식 억제에 효과적이었고, 여러 연구를 통해 저장기간을 연장시킬 수 있음이 밝혀졌다. Ehioba 등(1987)은 돼지고기에 저온성 부패균을 10^5 CFU/g으로 접종한 후, 진공포장하여 감마선 1.0 kGy로 조사하여 분석한 결과, 저장기간이 1.0~1.5일이 연장되었다고 보고하였고, Shamsuzzaman 등(1992)은 진공포장한 닭고기 가슴살에 1.0, 2.0, 3.0 kGy의 전자선 조사와 71.1℃ 가열을 조합처리하였을 때 대조구는 2주 이내에 부패하였으나, 조합처리된 시료는 저장기간이 1.0 kGy는 3주, 2.0 kGy는 6주, 3.0 kGy는 8주까지 연장되었다고 보고하였다.

Table 2. Effects of γ -ray and Electron-beam treatment on the number of *Shewanella putrefaciens* in the raw beef stored at 5°C for 8days

Days	Innoculated- Control	Kinds of irradiation (kGy)			
		γ -ray (1.5)	γ -ray (3.0)	E-beam (3.0)	E-beam (6.0)
0	6.3×10^6	ND ¹⁾	ND	5.7×10^4	1.3×10^4
2	2.6×10^7	ND	ND	6.7×10^4	6.1×10^4
4	7.3×10^7	ND	ND	6.4×10^4	2.9×10^4
6	5.5×10^9	ND	ND	6.0×10^5	1.0×10^5
8	2.3×10^{10}	ND	ND	6.0×10^6	5.0×10^5

¹⁾ ND : not detected

다. *Listeria monocytogenes* 균수

감마선과 전자선 조사에 의한 *L. monocytogenes* 균수의 변화는 표3, 4에 나타나 있다. 접종하지 않은 대조구에서 *L. monocytogenes* 균은 검출되지 않았으며, 10^6 CFU/ml를 접종 한 후 조사하지 않은 대조구의 *L. monocytogenes* 균수는 저장 0일에서 4일째까지 5.3×10^5 으로 큰 변화를 보이지 않았으며, 저장 6일째에 2.7×10^6 으로 증가하였다가 8일째에는 다시 4.4×10^5 으로 감소되었다. 감마선 1.5, 3.0 kGy 처리구와 전자선 3.0, 6.0 kGy 처리구 모두에서 저장기간동안 불검출되었다. 이러한 결과로 볼 때 *L. monocytogenes* 균이 앞서 보았던 *E. coli* O157:H7, *S. putrefaciens* 균에 비해 전자선 조사에 대한 저항성이 낮은 것으로 나타났다. *L. monocytogenes* 균의 전자선에 대한 저항성을 알아보기 위해 10^8 CFU/ml로 접종하여 실험한 결과, 접종 후 조사하지 않은 대조구의 *L. monocytogenes* 균수는 저장 0일에 5.2×10^7 으로 8일째까지 큰 변화를 보이지 않았다. 감마선 1.5, 3.0 kGy 처리구는 저장기간 동안 불검출되었다. 이것은 보존처리된 햄에 *L. monocytogenes*를 10^5 CFU/ml로 접종한 후, 감마선 0.75, 0.9, 1.8, 2.0 kGy로 조사하여 분석한 결과, 0.75, 0.9 kGy에서는 2 logCFU/g 이상 감소되었고, 1.8, 2.0 kGy에서는 모두 불활성화 되었다는 FU 등의 연구(1995)와 유사한 결과를 나타내었다. 또한 Radomyski 등(1994)은 0.4~0.6 kGy 수준의 감마선 조사 처리에 의해 증식을 감소시킬수 있다고 보고하였다.

전자선 3.0, 6.0 kGy 처리구는 저장 0일에 각각 4.8×10^5 , 3.1×10^5 으로 감소하였고, 3.0 kGy는 저장 8일까지 일정하게 유지되었으며, 6.0 kGy는 2일째 5.3×10^4 으로 감소하여 6일째까지 일정하게 유지되다가 저장 8일째 다시 1.1×10^5 으로 증가하였다. Shamsuzzaman 등의 연구(1995)에서는 닭고기 가슴살에 10^6 CFU/g 정도의 *L. monocytogenes*를 접종한 후, 전자선 3.1 kGy 조사와 Sous-vide 처리(육을 공기불투과성

film에 넣어 진공포장하고 열로 가열하는 공정)를 한 후, 8℃에서 5주 동안 저장하면서 실험한 결과, 조합처리한 시료에서는 균이 검출되지 않은 반면, 전자선 조사를 하지 않고 Sous-vide 처리만 한 시료에서는 저장기간동안 균이 증식하였다. 이상의 결과로 볼때 육류에서 *L. monocytogenes*를 제거하는데 있어서 감마선 또는 전자선과 같은 방사선 조사 처리가 효과적이라고 사료된다.

Table 3. Effects of γ -ray and Electron-beam treatment on the number of *Listeria monocytogenes* in the raw beef stored at 5℃ for 8days

Days	Inoculated- Control	Kinds of irradiation (kGy)			
		γ -ray (1.5)	γ -ray (3.0)	E-beam (3.0)	E-beam (6.0)
0	5.3×10^9	ND ¹⁾	ND	ND	ND
2	7.1×10^9	ND	ND	ND	ND
4	8.2×10^9	ND	ND	ND	ND
6	2.7×10^9	ND	ND	ND	ND
8	4.4×10^9	ND	ND	ND	ND

¹⁾ ND : not detected

Table 4. Effects of γ -ray and Electron-beam treatment on the number of *Listeria monocytogenes* in the raw beef stored at 5°C for 8days

Days	Inoculated- Control	Kinds of irradiation (kGy)			
		γ -ray (1.5)	γ -ray (3.0)	E-beam (3.0)	E-beam (6.0)
0	5.2×10^7	ND ¹⁾	ND	4.8×10^9	3.1×10^9
2	6.5×10^7	ND	ND	4.0×10^9	5.3×10^4
4	6.0×10^7	ND	ND	5.7×10^9	4.4×10^4
6	4.4×10^7	ND	ND	5.5×10^9	5.1×10^4
8	3.7×10^7	ND	ND	1.0×10^9	1.1×10^9

¹⁾ ND : not detected

제 4 절 참고문헌

- 1) Bruce, H. L. and Ball, R. O. 1990. Postmortem interactions of muscle temperature pH and extension on beef quality. *J. Anim. Sci.* 68:4167.
- 2) Bruhn, C. M. and Schutz, H. G. 1989. Food irradiation: Consumer awareness and outlook for acceptance of food irradiation. *Food Technol.* 43(7):93.
- 3) Brynjolfsson, A. 1989. Future radiation sources and identification of irradiated foods. *Food. Technol.* 43(7):84-89.
- 4) Cantoni, C., Balzaretto, C., and Valenti, M. 1989. A case of listeriosis following consumption of sausages. *Arch. Vet. Ital.* 40:141
- 5) Centers for Disease Control. 1989, Listeriosis associated with consumption of turkey franks. *Morbid. Mortal. Weekly Rep.* 38:267
- 6) Clavero, M. R. S., Monk, J. D, Beuchat, L. R., Dolye, M. P. and Brackett, B. E. 1994. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonellae* and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.* 60:2069-2075.
- 7) Davey, C. L. and Gilbert, K. V. 1969. Studies in meat tenderness. 7. Changes in the fine structure of meat during aging. *J. Food Sci.* 34:69.
- 8) Davey, C. L. and Gilbert, K. V. 1976. The temperature coefficient of beef aging. *J. Sci. Food Agric.* 27:244
- 9) Demeyer, D., Hoozee, J. and Meadom, H. 1974. Specificity of lipolysis during dry sausage ripening. *J. Food Sci.* 39:293.

- 10) Dempster, J., Zenia, F., Hawarysh, J., Shand, P., Corletto, S. 1985. Effect of low dose irradiation (radurization) on the shelf life of beefburgers stored at 3°C. J. Food Tech. 20:145
- 11) Dessouki, T. M., Soliman, I. M., Afifi, Y. and Saied, S. Z. 1978. Acceleration of fattening beef means of antibiotics and ionizing irradiation. Agricultural Research Review. 115-126.
- 12) Diehl, J. F. 1990. Safety of Irradiated Foods. Marcel Dekker, Inc.
- 13) Dransfield, E., Jones, R. C. D. and MacFie, H. J. H. 1981. Quantifying changes in tenderness storage of beef. Meat Sci. 5:131.
- 14) Dransfield, E., Jones, R. C. D. and MacFie, H. J. H. 1981. Tenderising in M. Longissimus dorsi of beef, veal, rabbit, lamb and pork. Meat Sci. 5:139.
- 15) Dransfield, E. 1994. Optimization of tenderization, aging and tenderness. Meat Sci. 36:105y
- 16) El-Wakil, F. A., Salwa, B. M., El-Magdi and Nadia, A. M. S. 1978. Preservation by Irradiation, Vienna IAEA/SM-221/10, p. 467.
- 17) Etherington, D. J., Taylor, M. A. J. and Dransfield E. 1987. Conditioning of meat from different species relationship between tenderising and the levels of Cathepsin B, Cathepsin L, Calpain I, Calpain II and β -glucuronidase. Meat Sci. 20:1.
- 18) Field, P. A., Carpenter, Z. L. and Smith, G. C. 1976. Effects of elevated temperature conditioning on youthful and mature beef carcasses. J. Animal Sci. 42:72.
- 19) Fu, A. H., Sebranek, J. G., and Murano, E. A. 1995. Survival of

- Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Escherichia coli* O157:H7 and Quality Changes After Irradiation of Beef Steaks and Ground Beef. J. Food Sci. 60:972-977.
- 20) Fu, A. H., Sebranek, J. G., and Murano, E. A. 1995. Survival of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* and quality attribute of cooked pork chops and cured ham after irradiation. J. Food Sci. 60:972-977.
- 21) Ginger, I. D., Lewis, U. J. and Schweigert, B. S. 1955. Changes associated with irradiating meat and meat extracts with gamma rays. J. Agric. Food Chem. 3:156-159.
- 22) Grant, I. R and Patterson, M. F. 1991. Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the micrological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperature. Int'l. J. Food. Sci. Technol. 26:507-519.
- 23) Hamm, R. Water-holding capacity of meat. In Meat. The Worth Press, London (1974)
- 24) Hansen, T. J., Chen, G. C. and Shieh, J. J. 1987. Volatiles in skin of low dose irradiated fresh chicken. J. Food Sci. 52:1180.
- 25) Heath, J. L., Owens, S. L., Tesch, S. and Hannah, K. W. 1990. Effects of High-energy electron irradiation of chicken meat on thiobarbituric acid values, shear values, odor, and cooked yield. Poultry Sci. 69:313.
- 26) Katta, S. R., Rao, D. R., Sunki, G. R., and Chawan, C.B. 1991. Effects of gamma irradiation of whole chicken carcasses on bacterial loads and fatty acids. J. Food Sci. 56:371
- 27) Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. Meat Sci. 36:93.

- 28) Lanari, M. C., Bevilacqua, A. E. and Zaritzky, N. E. 1987. Changes in tenderness during aging of vacuum-packaged beef. *J. Food Processing and Preservation*, 11:95.
- 29) Lawrie, R. A. 1974. *The storage and preservation of meat, meat science*, Second Ed. New York, Toronto, Sydney, Bauns Chewing.
- 30) Lea, C. H., Macfarlane, J. J. and Parn, L. J. 1960. Treatment of meats with ionizing radiations. V. Radiation pasteurization of beef for chilled storage. *J. Sci. Food Agric.* 11:690-694.
- 31) Lebepe, S., Molins, R. A., Charven, S. P., Farrar IV, H. and Skowronski, R. P. 1990. Change in microflora and other characteristics of vacuum-packaged pork loins irradiated at 3.0 kGy. *J. Food Sci.* 55:918-924.
- 32) Lee, M., Sebranek, J and Parrish, F. C., Jr. 1996. Accelerated postmortem aging of beef utilizing electron-beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.* 61:133.
- 33) Lefebvre, N., Thibault, C., Charbonneau, R. and Piette, J.-P. G. 1994. Improvement of shelf-life and wholesomeness of ground beef by irradiation. 2. Chemical analysis and sensory evaluation. *Meat Sci.* 36:371-380.
- 34) Loaharanu, P. 1989. International trade in irradiated foods: Regional status and outlook. *Food Technol.* 47(7):77.
- 35) Luchsinger, S. E., Kropf, D. H., Garcia Zepeda, C. M., Hunt, M. C., Marsden, J. L., Rubio Canas, E. J., Dastner, C. L., Duecker, W. G. and Mata, T. 1996. Color and Oxidative rancidity of gamma and electron beam-irradiated boneless pork chop. *J. Food Sci.* 61(5):1000
- 36) Mattison, M. L., Kraft, A. A., Olson, D. G., Walker, H. W., Rust, R. E.,

- and James, D. B. 1986. Effect of low dose irradiation of pork loins on the microflora, sensory characteristics and fat stability. *J. Food Sci.* 51:284.
- 37) Merritt, C., Angelini, P., Wierbricki, E. and Shults, G. W. 1975. Chemical changes associated with flavor in irradiated meat. *J. Agric. Food Chem.* 23:1037.
- 38) Minks, D. and Strin, W. C. 1972. The influence of aging beef in vacuum. *J. Food Sci.* 37:736.
- 39) Murano, P. S., Murano, E. A., and Olson, D. G. 1995. Quality characteristics and sensory evaluation of ground beef irradiated under various packaging atmospheres. *J. Meat Sci.* Presented at International Congress of Meat Science and Technology, San Antonio, Tex., August 1995.
- 40) Newbold, R. P. and Harris, P. V. 1972. The effect of pre-rigor changes on meat tenderness. *J. Food Sci.* 37:337.
- 41) Niemand, J. G, van der Linde, H. J., and Holzapfel, W. H. 1981. Radurization of prime beef cuts. *J. Food Prot.* 44:677-681.
- 42) Olson, D. G., Parrish, F. C. Jr., Dayton, W. R. and Goll, D. E. 1977. Effect of postmortem storage and calcium activated factor on the myofibrillar proteins of bovine skeletal muscle. *J. Food Sci.* 42:117.
- 43) Parrish, F. C. Jr., Rust, R. E., Popenhagen, G. R. and Miner, B. E. 1969. Effect of postmortem aging time and temperature on beef muscle attributes. *J. Anim. Sci.* 29:398.
- 44) Pearson, L. J. and Marth, E. H. 1990. *Listeria monocytogenes* - Threat to a safe food supply: a review. *J. Dairy Sic.* 73:912
- 45) Petaja, E., Kukkonen, E. and Puolanne, E. 1985. Effect of

- post-mortem temperature on beef tenderness. *Meat Sci.* 12:145.
- 46) Procter, B. E., Nickerson, J. T. R., Licciardello, J. J., Goldblith, S. A. and Sockhart, E. E. 1955. Extension of food storage life by irradiation. *Food Tech.* 9:523.
- 47) Rodriguez, H. R., Lasta, J. A., Mallo, R. A. and Marchevsky, N. 1993. Low-dose gamma irradiation and refrigeration to extend shelf life of aerobically packed fresh beef round. *J. Food Prot.* 56(6):505-509.
- 48) Rohdes, D. N., and Shepherd, H. J. 1966. The treatment of meat with ionizing radiations Pasteurization of beef and lamb. *J. Sci. Food Agric.* 17:287.
- 49) Shamsuzzaman, K., Chuaqui-offermans, N., Lucht, L., Mcdougall, T. and Borsa, J. 1992. Microbiological and other characteristics of chicken breast meat following electron-beam and sous-vide treatment. *J. Food Prot.* 55:528.
- 50) Shamsuzzaman, K., Lucht, L. and Chuaqui-offermans, N. 1995. Effects of combined electron-beam irradiation and sous-vide treatments on microbiological and other qualities of chicken breast meat. *J. Food Prot.* 58:497.
- 51) Skala, J. H., McGown, E. L., and Waring, P. P. 1987. Wholesomeness of irradiated foods. *J. Food Prot* 50:150-160.
- 52) Snyder, C. F. 1973. Method of tenderizing meat. U. S. Patent 3, 761, 283. Sep. 25.
- 53) Tahyer, D. W., and Boyd, G. 1993. Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in Meats by Gamma Irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:1030-1034.
- 54) Thayer, D. W., Boyd, G. and Jenkins, R. K. 1993. Low-dose

- Gamma Irradiation and Refrigerated Storage *in vacuo* Affect Microbial Flora of Fresh Pork. J. Food Sci. 58:717-733
- 55) Thayer, D. W., Lachica, R. V., Huhtanen, C. N., and Wierbicki, E. 1986. Use of irradiation to ensure the microbiological safety of processed meats. Food Technol. 40(4):159-162.
- 56) Thayer, D. W. 1993. Extending self life of poultry and red meat by irradiation processing. J. Food Prot. 56:831.
- 57) Thayer, D. W. 1993. Extending self life of poultry and red meat by irradiation processing. J. Food Protect. 56:831.
- 58) Thayer, D. W. and Boyd, G. 1996. Inactivation of *Shewanella putrefaciens* by gamma irradiation of red meat and poultry. J. food Safety. 16:151-160
- 59) Tornberg, E. and Larsson, G. 1986. The Influence of temperature on the course of rigor and in two beef muscles. Proceedings of the 32nd European meetings on Meat Research Workers. pp. 85-88.
- 60) Urbain, W. M. 1989. Food irradiation: The past fifty years as prologue to tomorrow. Food Technol. 43(7):76.
- 61) JWHO. 1988. Food Irradiation: A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva, Switzerland.
- 62) Wilson, G. D., Brown, P. O., Chesbro, W. R., Ginger, B. and Weir, C. E. 1960. The use of antibiotics and gamma irradiation in the aging of steaks at high temperatures. Food Technol. 14: 143-147
- 63) Witte, V. C., Krause, G. F. and Bailey, M. E. 1970. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. J. Food Sci. 35: 582

- 64) 정명섭, 강효경, 엄보영, 김영직, 이무하. 1997. 감마선 조사 처리가 쇠고기 숙성에 미치는 효과에 대한 연구. 한국축산학회지. 39(3): 297.
- 65) 정명섭, 강효경, 엄보영, 김영직, 이무하. 1998. 저수준 전자선 조사 처리가 쇠고기 숙성에 미치는 효과. 한국축산학회지. 40(2): 193-202.
- 66) 권중호. 1988. 식품에 대한 방사선의 이용. 식품공업 제93호 p. 77-85
- 67) 주선태. 1996. "식육의 기초지식". 미트저널(주). pp. 128-135
- 68) 오승희, 김동원 공저. 1994. 최신 식품위생학. 문운당. pp 254-274
- 69) 조한옥, 이미경, 변명우, 권중호, 김종균. 1985. 닭고기에 오염된 미생물의 감마선 살균. 한국식품과학회지, 17:170-174
- 70) 권오진, 육홍선, 김성애, 변명우. 1997. *Escherichia coli* O157:H7의 살균을 위한 감마선과 가열처리의 효과. 한국식품과학회지, 29: 771-775

제 4 장 전자선을 이용한 전통 농산가공품의
살균기술 개발(경북대학교)

제 4 장 전자선을 이용한 전통 농산가공품의 살균기술 개발

제 1 절 서 론

우리 나라의 대표적인 전통 농산가공품 중 인삼분말류 (백삼 및 홍삼)는 원료의 수확, 건조, 분쇄 등의 가공공정을 거치면서 미생물의 오염이 쉽게 발생되므로 제품의 품질관리에 큰 어려움을 겪고 있다¹⁾. 따라서 식품공전에는 인삼분말류의 성분규격으로서 미생물학적 규격은 백삼분말, 홍삼분말 모두 세균수 5×10^4 이하/g, 대장균군 음성으로 규정되어 있다²⁾. 또한 향신료 가공품과 분말수프의 미생물 규격은 구체적이지 않은 경우도 있지만 대장균군은 음성이고, 수출용 분말수프의 경우에는 세균수 5×10^4 이하/g, 대장균(군), *Bacillus cereus*, *Salmonella*, yeasts & molds, *Staphylococcus aureus* 및 *Clostridium perfringens*는 음성으로 규정되어 있다²⁾.

이상과 같은 농산 분말식품류는 미생물의 오염가능성이 매우 높아 거의 대부분 살균처리가 요구된다. 이들 건조품류의 기존 살균방법으로는 에틸렌옥시드 (ethylene oxide, E.O) 훈증법이 국내외적으로 대부분 사용되었다. 그러나 잔류성과 2차생성물에 의한 발암성 등이 문제시되어 선진국에서는 이미 식품에 대한 사용이 대부분 금지되었고³⁾, 국내에서도 1991년 7월 1일 사용이 금지된 바 있다⁴⁾. 그러나 지금까지 이에 대한 효과적인 대체 방안이 마련되지 못한 실정이나 Table 1과 같이 현재 최고 10 kGy 이하의 감마선 조사가 허가되어 부분적으로 실용화 되고 있다⁵⁾.

그러나 방사성동위원소에서 발생하는 감마선 에너지에 대하여 소비자 들의 인식은 충분하지 못한 실정이며, 따라서 조사식품에 대한 수용성을

높이기 위해서는 국가적인 차원의 홍보노력과 새로운 조사선원의 확대 연구도 요구되고 있다.

식품의 방사선 조사기술과 관련된 국제기구 (FAO, IAEA, WHO)와 Codex 식품규격위원회에서는 식품의 살균, 살충 등에 안전하게 이용될 수 있는 방사선으로는 ^{60}Co 및 ^{137}Cs 동위원소에서 발생하는 감마선 (γ), 전자가속기에서 발생하는 10 MeV 이하의 전자선 (electron beam) 및 기계적으로 발생하는 5 MeV 이하의 X선 등을 허가하고 있다⁶⁻⁸⁾. 그 결과 현재 약 40 개국에서 총 200여 품목의 식품에 대하여 방사선 조사가 허가되었고, 이들 나라 중 30여개국에서 상업적인 규모의 실용화가 이루어지고 있다⁹⁾.

이들 방사선 에너지의 특징을 살펴보면 Table 2와 같이 먼저 방사성동위원소에서 방출되는 γ 선과 기계적으로 발생하는 X선은 독특한 투과력을 지니고 있어 식품을 완포장된 상태로도 처리할 수 있어 재(再)포장 조장이 필요치 않아 2차 오염 방지가 가능하다. 그리고 전자가속기 (electron accelerator)에서 발생하는 전자선은 γ 선에 비해 투과력이 약하여 활용 범위가 제한되나, 에너지 강도와 효율이 높아 곡류의 살충이나 식품의 표면살균 등의 분야에 이용이 가능하다^{10,11)}. 특히 전자선은 에너지 발생이 전원(電源)에 의해 조절되고 (on/off) 공정제어, 신속·정확성, 에너지 효율성, 소비자 수용성 등의 측면에서 장점이 있으므로 선진국에서는 특히 표면살균이 요구되는 식품류 (곡류, 분말류, 과실류 등)에 전자선 에너지의 이용 연구가 활발히 추진되고 있다¹²⁻¹⁴⁾.

따라서 본 연구에서는 전자선 (electron beam)을 이용하여 내수 및 특히 수출상품에 있어서 미생물학적 품질관리에 많은 어려움을 겪고 있는 대표적전통 농산가공품인 인삼분말, 향신료 고추/생강 분말, 장류분말 등을 대상으로 새로운 살균기법의 실용화 기반연구를 수행하였다.

Table 1. List of items cleared for food irradiation in Korea (1998. 12.)

Item name	Type of clearance	Date of clearance	Dose(kGy) maximum
Chestnuts	unconditional	10/16/87	0.25
Mushrooms	unconditional	10/16/87	1.00
Mushrooms(dried)	unconditional	10/16/87	1.00
Onions	unconditional	10/16/87	0.15
Potato	unconditional	10/16/87	0.15
Spices	unconditional	9/13/88	10.00
Fish powder	unconditional	12/14/91	7.00
Garlic	unconditional	12/14/91	0.15
Meat(dried)	unconditional	12/14/91	7.00
Red pepper paste powder	unconditional	12/14/91	7.00
Shellfish powder	unconditional	12/14/91	7.00
Soy sauce powder	unconditional	12/14/91	7.00
Soybean paste powder	unconditional	12/14/91	7.00
Starch	unconditional	12/14/91	5.00
Enzyme preparations	unconditional	5/19/95	7.00
Sterile meals	unconditional	5/19/95	10.00
Vegetable seasonings(dried)	unconditional	5/19/95	10.00
Vegetables(dried)	unconditional	5/19/95	7.00
Yeast power	unconditional	5/19/95	7.00

Table 2. Comparative characteristics of electron beam and gamma ray

Characteristics	Electron beam	⁶⁰ Co gamma ray
Energy	Variable ~ 12 MeV	1.33 MeV + 1.17 MeV
Energy efficiency	High (~85 %)	Low (~30 %)
Penetrating power	Low (~0.35 g/cm ² /MeV)	High (~12 g / cm ²)
Power	Large (100 ~ 150 kW/Unit)	Small (1 M Ci = ca 15kW)
Others	Shut-off by power source	Continuous radiation, periodic replenishment of source

제 2 절 연구내용 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에 사용된 시료로서 백삼분말은 시중에서 유통되고 있는 K社 제품이었고, 홍삼분말은 한국담배인삼공사에서 제조된 제품이었다. 고추분말은 대구 D 시장의 고추방앗간에서 '96년산 통고추를 꼭지와 종자를 제거한 후 분말화한 것이었고, 생강분말은 국내에서 유통되고 있는 분말 제품을 구입하여 사용하였다. 또한 메주분말, 고추장분말, 된장분말은 S社 제품을 구입하여 시료로 사용하였다.

2. 시료의 살균처리 및 저장

시료에 오염된 미생물의 살균을 위하여 전자선 조사는 electron-beam processing facility (model ELV-4, 1 MeV, 삼성중공업 중앙연구소 소재)를 이용하여 low density polyethylene bag에 시료두께 4 mm 이하, 가속 전류 3.13~9.40 mA, beam dimension 98 cm (length)×7.5 cm (width), table speed 10~20 m/min 등으로 하여 실온에서 0.63 Gy·sec⁻¹의 선량률로 총 흡수선량이 2.5~15 kGy가 되도록 하였으며, 흡수선량은 CTA dosimeter를 사용하여 확인하였다 (±3.4 %). 또한 감마선 조사는 ⁶⁰Co 감마선 조사시설 (한국원자력연구소 소재)을 이용하여 실온에서 일정한 선량률로 2.5~15 kGy 범위의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 이때 시료의 감마선 조사시 흡수선량의 오차를 줄이기 위하여 원통형 PVC 용기 (∅ 5 × H 8 cm)를 사용하였으며, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였다 (±5.0 %). 이상의 방사선 조사된 시료는 비조사 대조시료와 함께 PVC 용기에 밀봉하여 실온에서 4개월간 저장하면서 이화학적·관능적 품질평가 실험에 사용하였다.

3. 미생물 검사

전자선 및 감마선 조사된 시료의 미생물검사는 총세균, 효모/곰팡이, 대장균군으로 구분하여 일정량의 시료를 살균된 증류수로 희석하여 그 상층액을 시험용액으로 사용하였다. 각 미생물 검사는 3회 반복으로 실시하면서 CFU (colony forming unit)로 계수하였다.

가. 호기성 총세균 (Total aerobic bacteria)

호기성 전세균은 APHA 표준방법¹⁵⁾에 따라 plate count agar (Difco, Lab)를 사용하여 37℃에서 1~2일간 배양한 후 CFU로 계수하였다.

나. 효모 및 곰팡이 (Yeasts and molds)

효모 및 곰팡이는 chloramphenicol로 pH를 3.5로 조절한 potato dextrose agar (Difco, Lab)를 사용하여 평판법¹⁶⁾으로 30℃에서 3~4일간 배양한 후 CFU로 계수하였다.

다. 대장균군 (Coliforms)

대장균군은 desoxycholate agar (Difco, Lab)를 사용하여 pour plate method¹⁶⁾에 의하여 37℃에서 1~2일간 배양한 후 적색의 집락을 CFU로 계수하였다.

4. 이화학적 특성 시험

가. 기계적 색도 측정

분말시료에 대한 기계적 색도는 color/color difference meter (Minolta, model CR-200, Japen)를 사용하여 Hunter's color value (L, a, b, ΔE)를 측정하였고, 이때 사용된 표준백판의 L, a, b값은 각각 97.32, -0.44, +2.14 이었다.

나. 수용성 색소 측정

수용성 색소의 측정은 조사된 분말시료 1g에 증류수 (pH 7)를 가하고 상온에서 3시간 추출 (200 rpm)한 후 4℃에서 8,000 rpm으로 20분간 원심 분리하여 얻은 상층액을 부피를 일정량 (100 ml)으로 하여 UV-visible spectro- photometer (UV-160 PC SHIMADZU)를 사용하여 420 nm에서 흡광도로써 측정하였다.

다. 고추의 capsanthin 측정

고추의 색택을 나타내는 capsanthin 분석은 Rosebrook 등¹⁷⁾의 방법에 따라 실시하였다. 즉, 시료 0.1 g을 취하여 100 ml의 삼각플라스크에 넣고 50 ml acetone을 가한 후 상온의 암소에서 30분간 추출 (150 rpm), 여과한 후 잔사에 10 ml acetone을 가하여 추출, 여과하였다. 잔사에 동일한 조작을 3회 반복하여 부피를 일정량(100 ml)으로 하여 파장 460 nm에서 acetone을 blank로 하여 흡광도를 측정하였다.

라. 인삼의 saponin 안정성 시험

1) Saponin의 추출

인삼분말 5 g을 둥근 플라스크에 취하고 70 % methanol 100 ml를 가하여 80℃ water bath 상에서 2시간씩 3회 반복 추출하였다. 추출액은 여과 (Whatman No. 41)한 다음, 8000 rpm에서 20분간 원심분리하고 상층액을 감압농축한 다음 60 ml의 증류수에 용해한 후 분액깔대기에 넣어 diethyl ether 가용성 성분들을 제거하였다. 남은 수층에는 수포화 부탄올을 가해 (50 ml씩 3회) n-butanol 층으로 이행된 saponin을 분리 농축시켜 crude saponin으로 하였다^{18,19)}.

2) Saponin의 TLC 분리

방사선 조사된 인삼분말의 saponin의 구성성분 pattern을 비교하기 위하여 thin layer chromatography (TLC)를 수행하였다. 상기 crude saponin을 10 % methanol 용액 (w/v)으로 만들어 silica gel TLC 판에 점적하여 chloroform : methanol : water (65:35:10, v/v/v, lower phase)로 전개한 후 30 %-H₂SO₄에 분무하여 110℃에서 5분간 발색시켜 암 적색의 saponin spot이 나타난 chromatogram을 얻었다^{18,19)}.

3) Saponin의 HPLC 분석

상기와 같이 추출, 농축된 crude saponin을 10 % methanol 용액 (w/v)으로 만들어서 Table 3의 분석조건에 따라 high performance liquid chromatography (HPLC)를 실시하여 분리, 정량하였다^{18,19)}.

Table 3. Operating conditions of HPLC for analysis of ginsenosides

Components	Conditions
	Analytical HPLC/ALC-244
Instrument	Waters Microbondpack
Column	NH ₂ (10 μm)
Mobile phase	ACCN/H ₂ O/n-BuOH
Flow rate	80:20:10
Detector	1.1 ml/min.
	Waters 410. differential refractometer

마. 고추의 capsaicin 분석

고추의 매운맛 성분인 capsaicin의 방사선에 대한 안정성을 확인하기 위하여 시료 10 g을 칭량하여 진탕기에서 메탄올을 용매로 하여 추출하였다. 추출물은 진공농축기로 감압 건조하여 hexane 50 ml에 녹여 분액깔대기로 옮긴 뒤 80 % methanol을 50 ml 가하여 진탕하였다. 이 조작을 3회 반복하고 methanol을 회수하였다. 회수된 methanol은 다른 분액깔대기에 옮기고 포화식염수 150 ml를 가한 후 dichloromethane을 50 ml 씩 3회 가하여 진탕분리하여 정지한 후 dichloromethane층을 회수하였다. 회수된 dichloromethane 층에 무수황산나트륨을 가하여 탈수, 여과 한 후 약 2 ml로 감압 건조시킨 다음 Table 4와 같은 분석조건으로 gas chromatograph (GC)를 이용하여 정량분석하였다. 이 때 표준물질은 Sigma社 제품인 8-methyl-N-vanillyl-6-nonenamide(capsaicin)과 8-methyl-N-vanillyl-nonanamide(dihydrocapsaicin)을 사용하였다.

Table 4. Operating conditions of GC for capsaicin analysis of *Capsicum annum* L.

Items	Conditions
Instrument	HP 5890 series II
Column	BP - 10
Detector	flame ionization detector
Column temp.	250°C
Injection temp.	280°C
Detector temp	300°C
Carrier gas	N ₂ (1.8 ml/min)

Table 5. Operating conditions of HPLC for gingerol analysis of *Zingiber officinale* Roscoe

Items	Conditions
Instrument	HP1050
Column	HP - C18
Mobile phase	CH ₃ CN : H ₂ O (38 : 62)
Flow rate	1.5 ml/min
Injection volume	280°C
Detector	UV/VIS 280 nm

바. 생강의 gingerol 분석

방사선 조사후 생강분말의 gingerol 함량은 고 등²⁰⁾의 방법에 준하여 분석하였다. 시료 약 0.5 g을 정확히 달아 등근 플라스크에 넣고 75 % ethanol용액 30 ml를 가하여 1시간 환류추출한 다음 여과하였다. 이상의 추출조작은 3회 반복으로 실시하고, 여액을 한데 모아 감압농축하였다. 농축물을 acetonitrile에 녹여 10 ml로 정용하고 high performance liquid chromatograph (HPLC)로 분석하였으며, 이때 분석조건은 Table 5와 같다.

사. 전자공여능 측정

방사선 조사가 시료분말의 항산화성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 전자공여능을 α, α' -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH)을 이용한 방법으로 측정하였다. 즉, DPPH 시약 12 mg을 100 ml absolute ethanol에 용해한 후 증류수 100 ml를 가하고 50 % ethanol용액을 blank로 하여 517 nm에서 DPPH 용액의 흡광도를 약 1.0으로 조정하였다. 이 용액 5 ml와 시료용액 1 ml를 혼합한 후 517 nm에서 흡광도의 변화를 측정하였으며, 이때 전자공여능은 시험구와 대조구와의 흡광도를 이용하여 백분율로 나타내었다²¹⁾.

$$\text{EDA (\%)} = \left(1 - \frac{A}{B} \right) \times 100$$

A: 시험구의 흡광도

B: 대조구의 흡광도

아. TBA가 측정

시료의 방사선 조사에 따른 지질성분의 산패정도를 알아보기 위하여 TBA는 Turner 등²²⁾의 방법에 따라 시료 0.2 g을 원심분리관에 칭량하고 2N-phosphoric acid에 용해한 20 % TCA (trichloroacetic acid)용액 5 ml 와 0.01N-TBA (2-thio- barbituric acid)용액 10 ml를 가하여 열탕조에서 때때로 흔들며 주면서 30분간 가열하였다. 가열 후 ice bath에서 10분간 냉각시키고, isoamyl alcohol-pyridine (2:1, v/v) 용액을 15 ml 가한 뒤 강하게 2분간 흔들며 emulsion을 파괴시켰다. 상층액은 UV-visible spectrophotometer를 사용하여 isoamyl alcohol-pyridine(2:1, v/v)용액을 blank로 538 nm에서 흡광도를 측정하였다.

자. 지방산 조성 분석

방사선이 조사된 분말시료를 대상으로 하여 지방산 조성을 분석하고자 지방질 추출은 상법에 준하여 분쇄된 시료를 원통여지에 넣고 diethyl ether를 가하여 추출한 다음 추출물을 감압 농축시켜 증량법으로 조지방질 함량을 구하였다. 지방산 분석은 추출된 조지방을 취하여 Metcalf 등²³⁾의 방법에 준하여 1N-KOH/methanol로 가수분해 시킨후 BF₃를 가하여 methyl ester화 시킨 다음 GC로 분석하였으며, 분석조건은 Table 6과 같다.

5. 관능적 품질평가

분말시료의 살균을 위한 전자선 및 감마선 조사가 시료의 관능적 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 식품공학과 대학원생 중 차이식별 능력을 훈련 받은 20명의 검사요원에게 실험의 목적과 방법을 주지시킨 다음, 살균처리된 인삼, 고추 및 생강 분말의 색과 냄새에 대한 기호도를

무처리 대조구를 표준시료 (R)로 하여 다시료비교법²⁴⁾으로 평가하게 하였다. 이때 각 시료에 대한 등급은 panel 자신에 의해 “차이가 없다”는 5, “R보다 대단히 좋다”는 1, 그리고 “R보다 대단히 나쁘다”는 9로 평가하였다. 또한 방사선이 조사된 메주, 고추장 및 된장분말의 관능적 품질 평가에서

Table 6. Operation conditions of GC for analysis of fatty acid of *Capsicum annum* L. and *Zingiber officinale* Roscoe

Items	Conditions
Instrument	Hewlett Packard 5890 series II,
Detector	FID
Column	Supelcowax 10 (60m×0.25mm I.D) fused silica capillary column
Column temp.	180℃
Injector temp.	240℃
Detector temp.	250℃
Carrier gas, flow rate	N ₂ , 0.8ml/min

는 업계에서 시행하고 있는 방법으로 장류분말을 1 % 수용액으로 조제하여 50℃ 내외의 온도에서 10명의 검사요원에 의해 색, 맛 및 냄새에 대하여 평가하였다. 각 시료간의 통계적 유의성 검정은 statistical analysis system²⁵⁾에 의한 분산분석과 Duncan's multiple range test²⁶⁾를 이용하여 실시하였다.

6. 저장안정성 시험

분말시료의 위생화를 위한 전자선 및 감마선 조사가 시료의 저장·유통

중 품질변화에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 밀폐용기 (PVC)에 포장된 시료를 실온에서 4개월 간 저장한 다음 몇가지 품질특성을 조사하였다. 즉, 시료의 분석은 수용성 색소, 기계적 색도, capsanthin, capsaicin, gingerol, 전자공여능, TBA 가 등에 대하여 상기와 동일한 방법으로 3회 반복 실시하였다.

제 3 절 연구결과 및 고찰

1. 농산 건조가공품의 미생물학적 품질 및 전자선 살균효과

본 실험에 사용된 백삼 및 홍삼 분말의 미생물 혼입도를 표준방법에 따라 측정하여 본 결과, Table 7과 같이 총세균은 시료 g당 10^5 CFU (colony forming unit) 수준이었고 대장균군 (coliforms)은 백삼분말에서는 시료 g당 10^3 CFU 수준으로 검출되었으나 홍삼분말에서는 음성으로 나타났다. 본 시료는 인삼분말류의 미생물 기준인 “총세균 5×10^4 이하/g, 대장균군 음성”²⁾에 비추어 볼 때 효과적인 살균처리가 요구되었다. 전자선과 감마선 조사에 의한 총세균 살균효과를 비교해 본 결과 Table 7과 같이 5~7.5 kGy의 전자선 및 감마선 조사에 의해 2~3 log cycles 정도의 감균효과를 가져올 수 있었다. 대장균군은 이 보다 더 높은 감수성을 보이면서 5 kGy 조사군에서도 모두 음성으로 나타났다 (Table 8). 그리고 곰팡이의 오염도는 Table 9에서와 같이 백삼시료에서만 매우 낮은 수준으로 분말제품에서 별 문제되지 않을 것으로 생각된다.

따라서 위생적 품질관리의 측면에서 가장 높은 오염과 이를 살균하기 위해 높은 선량의 방사선 조사가 요구되는 총세균에 대하여 전자선 및 감마선의 감수성을 측정·비교해 보았다. Table 10에 나타난 바와 같이 두 시료에 대한 회귀식을 얻을 수 있었으며, 초기 오염 미생물의 농도를 90 % 사멸시키는데 필요한 조사선량 (D_{10} value)을 계산하여 보았을 때 전자선은 2.85~3.75 kGy, 감마선은 2.33~2.44 kGy 범위로 시료의 미생물 농도와 에너지의 종류에 따라 다소 다르게 나타났다.

Table 7. Comparative effects of electron-beam(EB) and gamma-ray(GR) irradiation on the population of total aerobic bacteria in powdered agricultural products during storage

(unit : CFU/g)

Sample	Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
			2.5	5.0	7.5	10	15	
White ginseng	EB	0	1.6×10^7	2.3×10^4	4.6×10^1	1.7×10^4	0	0
		4	1.4×10^7	2.2×10^4	4.4×10^4	1.4×10^4	0	0
	GR	0	1.6×10^7	4.7×10^4	1.5×10^4	9.0×10^2	0	0
		4	1.4×10^7	4.4×10^4	1.4×10^4	8.9×10^2	0	0
Red ginseng	EB	0	4.4×10^7	2.1×10^4	1.4×10^4	6.0×10^2	0	0
		4	4.2×10^7	2.3×10^4	1.5×10^4	5.8×10^2	0	0
	GR	0	4.4×10^7	3.7×10^4	5.8×10^1	2.5×10^2	0	0
		4	4.2×10^7	3.8×10^4	5.6×10^1	2.5×10^2	0	0
Red pepper	EB	0	3.9×10^6	5.0×10^4	2.1×10^3	3.0×10^1	0	0
		4	3.1×10^6	1.7×10^4	7.3×10^3	3.3×10^2	N.D ¹⁾	0
	GR	0	3.9×10^6	1.2×10^5	4.3×10^3	2.8×10^2	0	0
		4	3.1×10^6	2.1×10^5	1.2×10^4	1.9×10^3	N.D	0
Ginger	EB	0	2.8×10^5	8.8×10^2	4.0×10^1	0	0	0
		4	4.8×10^5	1.1×10^3	4.0×10^1	N.D	0	0
	GR	0	2.8×10^5	1.9×10^3	1.0×10^2	0	0	0
		4	4.8×10^5	1.8×10^3	1.3×10^2	N.D	0	0
Meju	EB	0	3.9×10^6	5.0×10^4	2.1×10^3	3.0×10^1	0	0
		4	3.1×10^6	1.7×10^4	7.3×10^3	3.3×10^2	N.D	0
	GR	0	3.9×10^6	1.2×10^5	4.3×10^3	2.8×10^2	0	0
		4	1.1×10^7	1.1×10^5	3.5×10^5	2.6×10^4	2.0×10^3	3.4×10^2
Kochujang	EB	0	2.8×10^5	8.8×10^2	4.0×10^1	0	0	0
		4	4.8×10^5	1.1×10^3	4.0×10^1	N.D	0	0
	GR	0	2.8×10^5	1.9×10^3	1.0×10^2	0	0	0
		4	1.1×10^6	2.9×10^5	1.0×10^5	5.5×10^4	8.7×10^3	2.5×10^2
Soybean paste	EB	0	3.9×10^6	5.0×10^4	2.1×10^3	3.0×10^1	0	0
		4	3.1×10^6	1.7×10^4	7.3×10^3	3.3×10^2	N.D	0
	GR	0	3.9×10^6	1.2×10^5	4.3×10^3	2.8×10^2	0	0
		4	2.0×10^5	6.0×10^4	8.5×10^3	6.7×10^2	5.8×10^1	0

¹⁾Not detectable (the minimum detection level as 20 CFU/g).

Table 8. Comparative effects of electron-beam(EB) and gamma-ray(GR) irradiation on the population of coliforms in powdered agricultural products during storage (unit : CFU/g)

Sample	Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
			0	2.5	5.0	7.5	10	15
White ginseng	EB	0	9.5×10^1	1.5×10^1	0	0	0	0
		4	9.2×10^1	1.6×10^1	0	0	0	0
	GR	0	9.5×10^1	6.0×10^1	0	0	0	0
		4	9.2×10^1	5.8×10^1	0	0	0	0
Red ginseng	EB	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
	GR	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
Red pepper	EB	0	8.7×10^2	0	0	0	0	0
		4	2.7×10^2	0	0	0	0	0
	GR	0	8.7×10^2	0	0	0	0	0
		4	2.7×10^2	0	0	0	0	0
Ginger	EB	0	1.1×10^2	0	0	0	0	0
		4	9.1×10^2	N.D ¹⁾	0	0	0	0
	GR	0	1.1×10^2	0	0	0	0	0
		4	9.1×10^2	N.D	0	0	0	0
Meju	EB	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
	GR	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
Kochujang	EB	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
	GR	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
Soybean paste	EB	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
	GR	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0

¹⁾Not detectable (the minimum detection level as 20 CFU/g).

Table 9. Comparative effects of electron-beam(EB) and gamma-ray(GR) irradiation on the population of yeasts and molds in powdered agricultural products during storage (unit : CFU/g)

Sample	Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
			0	2.5	5.0	7.5	10	15
White ginseng	EB	0	3.0×10^1	0	0	0	0	0
		4	3.1×10^1	0	0	0	0	0
	GR	0	3.0×10^1	0	0	0	0	0
		4	3.1×10^1	0	0	0	0	0
Red ginseng	EB	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
	GR	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
Red pepper	EB	0	4.7×10^1	0	0	0	0	0
		4	1.6×10^3	1.9×10^2	N.D ¹⁾	0	0	0
	GR	0	4.7×10^1	0	0	0	0	0
		4	1.6×10^3	6.5×10^2	N.D	0	0	0
Ginger	EB	0	1.1×10^3	5.3×10^1	0	0	0	0
		4	1.2×10^4	1.0×10^2	N.D	0	0	0
	GR	0	1.1×10^3	1.9×10^2	0	0	0	0
		4	1.2×10^4	2.3×10^2	N.D	0	0	0
Meju	EB	0	3.7×10^3	1.6×10^2	5.7×10^1	0	0	0
		4	3.8×10^3	1.7×10^2	6.1×10^1	0	0	0
	GR	0	3.7×10^3	1.9×10^2	6.0×10^1	0	0	0
		4	3.8×10^3	1.9×10^2	6.6×10^1	0	0	0
Kochujang	EB	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
	GR	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
Soybean paste	EB	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0
	GR	0	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	0	0

¹⁾Not detectable (the minimum detection level as 20 CFU/g).

Table 10. Radiosensitivity of total aerobic bacteria contaminated in white and red ginseng powders

Samples	Radiation type	Regression equation for log survival curve	D ₁₀ value (kGy)
White ginseng	Electron beam	$y = -0.09358 - 0.26369x$	3.75
	Gamma ray	$y = 0.33453 - 0.40985x$	2.44
Red ginseng	Electron beam	$y = -0.10469 - 0.35106x$	2.85
	Gamma ray	$y = -0.03112 - 0.42614x$	2.33

방사선 조사후 밀봉 포장 (원통형 불투명 PVC 용기, 200 ml)하여 실온에서 4개월간 저장한 다음 미생물의 생육상태를 동일한 방법으로 조사해 본 결과 증식현상은 전혀 없었으며, 특히 수분함량이 5 % 미만인 홍삼분말의 경우에는 부분적으로 미생물의 농도가 감소되었다. 이상의 결과에서 볼 때 방사선에 의해 살균처리된 인삼분말은 성분규격에 따라 9 % 이하의 수분함량을 유지한다면 유통 중 미생물의 증식에 의한 문제는 없을 것으로 생각된다.

향신료의 미생물학적 품질 평가에서는 고추분말 I (고추방앗간에서 직접 제조한 것)과 고추분말 II (시중 유통 600g 단위 PE 포장 상품)를 사용하였는데, 이들 시료에 대한 미생물 혼입도를 표준방법에 따라 측정하여 본 결과, 총세균은 $10^5 \sim 10^6$ CFU/g 수준이었다 (Table 7). 위생지표 미생물인 대장균군은 시료II에서 10^2 CFU/g 수준으로 검출되었으며 (Table 8), 효모 및 곰팡이는 매우 낮은 수준이었다 (Table 9). 또한 생강분말에 있어서는 3종 (시중 유통 분말시료 I, II, III)의 시료에서 총

세균이 $10^3 \sim 10^5$ CFU/g 수준이었고, 대형 포장으로 가공업체에 납품되고 있는 시료 (II)에서 효모 및 곰팡이가 10^3 CFU/g, 대장균군이 10^2 CFU/g 수준으로 검출되었다 (Table 7~9). 식품공전에는 향신료에 대한 품목별 미생물 규격이 없으나, 이들을 원료로 한 향신료 가공품이나 복합조미 식품에서는 대장균(군)이 음성이도록 규정하고 있다²⁷⁾.

그러나 향신료 제조 및 유통업계에서는 이들이 가공 부원료로 사용되었을시 최종제품의 미생물학적 품질에 미치는 영향을 감안하여, 총세균의 농도가 10^4 CFU/g 이하일 것을 권장하고 있다. 이상의 결과에서 알 수 있듯이 고추, 생강분말 등 분말형태의 향신료는 제품의 특성상 미생물 오염도가 높아 살균처리가 필수적으로 요구되며, 살균방법으로는 안전성에 문제점이 지적되고 있는 화학혼중제를 제외하고는 감마선 조사방법이 거의 유일한 대체방안으로 인식되고 있다. 따라서 본 실험에서는 감마선 살균법을 비교구로 하여 전자선 조사의 살균효과를 확인하여 보았다. 먼저 고추분말에서는 Table 7과 같이 5 kGy의 전자선 조사로써 오염된 미생물을 2~3 log cycles 정도 감소시킬 수 있었고, 7.5 kGy 조사구에서는 총세균의 농도를 10^2 CFU/g 수준 이하로 감소시킬 수 있었다. 특히 대장균군과 곰팡이는 2.5 kGy 조사선량에서도 검출한계 이하로 감균이 가능하였으며 (Table 8, 9), 전자선의 이와 같은 살균효과는 감마선과 거의 유사하였다.

생강분말에 있어서는 Table 7~9에 나타난 바와 같이 오염미생물의 방사선감수성이 다소 상이한 것으로 나타났다. 즉, 효모 및 곰팡이의 사멸을 위해서는 2.5 kGy 이상의 조사선량이 요구되었으며, 5 kGy 조사는 모든 미생물의 농도를 10^3 CFU/g 이하로, 7.5 kGy 조사구에서는 검출한계 이하로 감소시켰다. 생강분말의 경우에도 전자선 조사는 감마선 조사와 유사한 살균특성을 나타내었다. 살균처리된 향신료 시료들은 실온에서 4개월간 저장한 후 미생물의 생육특성을 확인 해 본 결과는 Table 7~9와 같다. 모든 시료구에서 오염미생물의 농도는 거의 변화되지 않거나 1 log

cycle 내외의 증감현상이 나타났으며, 이 같은 현상은 세균이나 대장균군에 비해 효모 및 곰팡이에서 다소 현저하였다. 그러나 실은 저장기간 중 이 같은 미생물 농도의 변화는 매우 미미한 수준이며, 시료의 수분함량(고추분말 18.1%, 생강분말 9.6%)을 규격(15% 이하) 이하로 유지하고 수분 투과성이 없는 밀폐포장만 가능하다면 전자선 조사 시료의 저장 중 미생물학적 품질안정성은 확보될 것으로 판단된다.

장류분말(메주, 고추장 및 된장 분말)의 미생물학적 품질 평가에서는 가공업체에 납품되고 있는 시료에 대한 미생물 혼입도를 측정하여 본 결과, 총세균은 $10^5 \sim 10^6$ CFU/g 수준이었고(Table 7) 대장균군은 검출되지 않았으며(Table 8), 효모 및 곰팡이는 메주 분말에서만 10^3 /g으로 매우 낮은 수준이었다(Table 9). 국내에서 장류분말의 미생물 규격은 대장균(군) 음성, 세균수 10^4 CFU/g 이하로 통용되고 있다.

전자선과 감마선 조사에 의한 오염미생물의 살균효과를 비교해 보면, 총세균의 경우 5~7.5 kGy의 전자선과 감마선 조사에 의해 3~5 log cycles 정도의 감균효과를 나타내어 인삼분말이나 향신료 분말에 오염된 세균보다 낮은 방사선 감수성을 보였다(Table 7). 효모 및 곰팡이는 이보다 더 높은 감수성을 보여 7.5 kGy 조사구에서 모두 검출한계 이하를 보였다(Table 9). 장류분말에 혼입된 세균류의 높은 방사선 저항성은 *Bacillus* 계통의 내열성균이 그 주요 원인으로 생각되며, 미생물 규격을 고려한다면 7.5 kGy 수준의 전자선 조사로써 충분한 살균효과를 거둘 수 있다²⁸⁾고 판단되었다. 그러나 4개월간 저장된 감마선 조사시료의 세균증식은 포장조건의 문제로 생각되며, 수분함량이 낮은 분말시료의 경우 살균처리 후 미생물 증식은 거의 보고된 바 없으므로, 조사처리 후 제품의 포장·유통 관리가 매우 중요함을 시사하고 있다.

2. 살균처리된 시료의 이화학적 품질 평가

가. 농산가공품의 기계적 색도

살균처리된 인삼분말 시료의 색도를 분말(Table 11)과 50 % 에탄올 추출물로 구분하여 Hunter color value (L, a, b 및 ΔE)를 측정하여 본 결과, 처리직후는 조사선량의 증가와 더불어 백색도/명도 (L value)의 감소와 적색도 (a value) 및 황색도 (b value)의 증가 현상이 다소 나타났다. 이 같은 현상은 홍삼분말보다는 백삼분말에서 잘 나타났고 분말상태보다는 50 % 에탄올 추출물에서 더욱 현저하게 확인되었다. 조사선원 별로는 전자선이 감마선보다 더 큰 변색을 초래하였으며, 10 kGy 이상의 고선량 조사에서는 ΔE 값이 조금 높게 나타났다. 고추분말의 적색도는 고선량 조사에 의해 감소되었고 저장 4개월 후에는 비교적 안정하였다. 즉, 10 kGy까지의 전자선이나 감마선 조사에 의해서도 시료의 외관적 품질을 나타내는 백색도, 적색도 및 황색도의 변화가 크지 않음을 보여주었다. 전반적인 색차를 나타내는 ΔE 값의 변화에서 고추분말은 입자의 크기로 인해 다소 편차가 심했으나 느끼는 정도(noticeable)의 색차가 인정되었다. 생강분말의 경우에는 모든 적용선량에서 조금 (slight)의 변색이 확인될 정도였으나, 저장 4개월 이후에는 황색도가 낮아지면서 색차가 증가되었다. 이와 같이 적정 범위의 선량으로 조사된 살균시료에서 저장 중 색의 변화는 시료에 따라 다양한 결과를 보였다. 특히 생강분말, 된장분말, 고추분말 등은 사용 직전에 살균처리를 함으로써 변색을 방지할 수 있으리라 생각되며 전자선과 감마선간에는 뚜렷한 차이가 없었다.

Table 11. Comparative effects of electron-beam(EB) and gamma-ray(GR) irradiation on Hunter color $\Delta E^{1)}$ value of powdered agricultural products during storage

Sample	Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
			0	2.5	5.0	7.5	10	15
White ginseng	EB	0	0	0.55	0.73	0.52	0.56	0.89
		4	0	0.64	0.73	0.69	0.56	0.89
	GR	0	0	0.42	0.11	0.32	0.87	1.12
		4	0	0.32	0.40	0.37	0.79	1.61
Red ginseng	EB	0	0	0.76	1.09	3.90	4.29	1.30
		4	0	0.48	1.32	0.71	1.17	1.48
	GR	0	0	0.89	0.69	1.16	1.63	1.49
		4	0	1.35	0.76	0.50	0.98	0.81
Red pepper	EB	0	0	0.30	1.88	2.97	3.25	3.85
		4	0	3.54	5.28	2.59	3.67	3.13
	GR	0	0	2.32	2.32	2.80	4.04	3.53
		4	0	2.95	0.77	4.56	3.40	2.99
Ginger	EB	0	0	0.73	0.90	0.58	0.96	1.63
		4	0	4.76	5.72	9.47	9.01	10.54
	GR	0	0	1.38	0.92	1.21	0.43	0.78
		4	0	6.67	7.54	8.24	9.09	10.00
Meju	EB	0	0	0.45	1.16	0.34	0.56	0.18
		4	0	1.20	1.10	1.10	0.83	1.42
	GR	0	0	0.22	0.65	0.44	0.33	0.34
		4	0	1.06	1.84	1.52	1.81	2.72
Kochujan g	EB	0	0	0.20	0.51	0.43	3.24	7.09
		4	0	1.30	1.45	1.15	1.52	1.59
	GR	0	0	0.41	1.30	1.64	2.58	4.95
		4	0	1.21	1.53	1.17	1.60	1.74
Soybean paste	EB	0	0	0.38	0.16	0.59	0.57	0.28
		4	0	4.37	3.25	2.25	6.14	6.80
	GR	0	0	0.01	0.05	0.07	0.27	0.42
		4	0	1.91	2.57	6.69	8.22	8.25

¹⁾ ΔE : overall color difference $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$.

나. 농산가공품의 색소

1) 수용성 색소의 변화

비효소적 Maillard 반응에 의해 주로 생성되는 수용성 색소 함량을 측정해 본 결과, 조사 직후 홍삼분말에서는 거의 변화가 없었으나 백삼분말에서는 선량의 증가와 더불어 갈색도가 증가되었으며, 이 같은 현상은 감마선보다는 전자선 조사구에서 조금 높았다. 또한 실온 4개월 저장후에는 전반적으로 색도가 증가하였으며, 특히 대조구와 감마선 조사된 홍삼의 갈색도가 상당히 높아짐을 알 수 있었다. 그러나 기타 건조농산물에 있어서는 조사선량의 증가와 저장기간에 따라 전반적으로 감소하였으나 저장기간의 경과로 처리구 간에는 차이가 줄어들었다.

2) 고추 capsanthin 함량의 변화

고추 분말 및 고추장 분말의 외관적 품질은 적색소의 함량, 즉 capsanthin의 함량과 상관관계를 가지고 있다. 살균처리를 위한 방사선 조사후 capsanthin 함량을 측정하여 본 결과, Fig. 1과 같이 조사선량의 증가와 더불어 다소 감소하는 경향으로 살균선량인 7.5 kGy 조사에서 전자선 조사는 10 % 미만, 감마선 조사는 15 % 내외의 색소 감소를 나타내었다. 방사선 조사후 실온에서 4개월 저장후 capsanthin 함량은 전반적으로 다소 감소하였으나, 비조사 대조군이 조사군에 비하여 capsanthin의 감소가 큰 것으로 나타났으며, 처리구간의 차이는 크게 감소되어 비교적 안정한 것으로 나타났다. Chen 등²⁹⁾과 Farkas 등³⁰⁾은 고추가루와 paprika에 10 kGy의 감마선을 조사하였을 때 capsanthin 함량변화는 유의적이지 않았다고 하였다. 또한 본 실험에서 감마선 조사군이 전자선 조사군에 비하여 조사선량의 증가와 더불어 capsanthin의 감소가 다소 크게 나타났다.

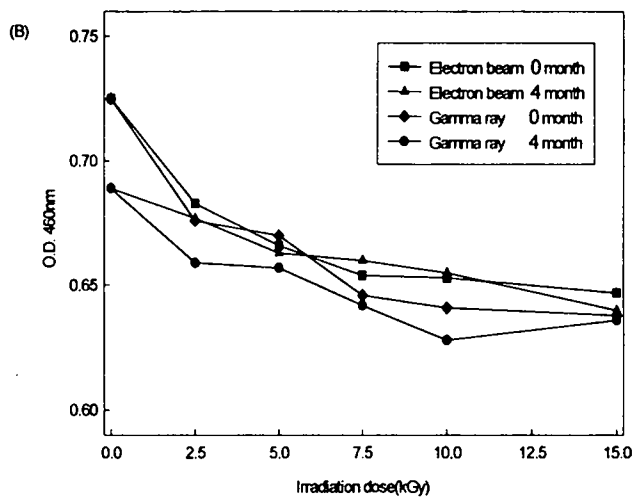
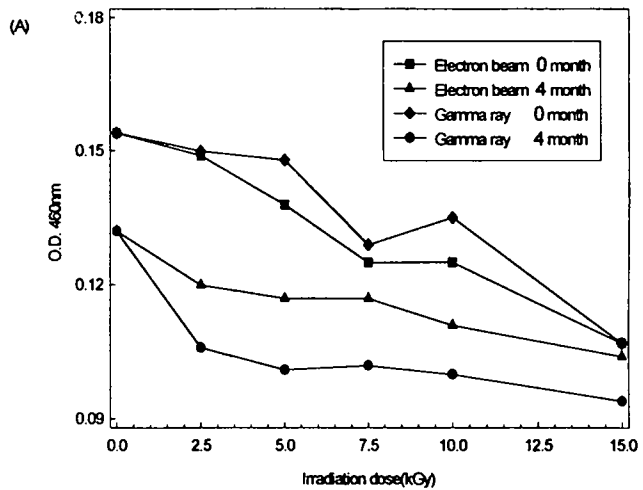


Fig. 1. Comparative effects of electron-beam and gamma-ray irradiation on capsanthin contents of powdered red pepper (A) and kochujang (B) during storage.

다. 농산가공품의 품질지표 성분

1) 인삼의 saponin 함량의 변화

인삼 분말의 살균을 위한 2.5~15 kGy 범위의 전자선과 동일 선량의 감마선을 각 시료에 처리한 다음 조사 선량 별로 사포닌 성분의 패턴 및 함량을 분석해 보았다. 먼저 전자선 및 감마선 처리후 시료의 사포닌 패턴을 TLC에 의해 표준물질과 비교해 보았을 때 Fig. 2에서와 같이 처리구간에 매우 유사하게 거의 차이가 없었다. 또한 이들 구성 ginsenoside의 함량을 HPLC에 분석해 본 결과, Table 12와 같이 처리구간에 거의 차이가 없었고 일정 선량의 조사는 사포닌 성분의 부분적인 증가현상을 가져왔다. 이는 에너지의 전리작용 등에 의해 유효성분의 추출이 용이하게 된 것으로 보인다³¹⁾. 그리고 저장 4개월 후에는 홍삼은 백삼보다 안정하였고 사포닌 성분간에는 다소의 증감현상은 있었으나 조사선량에 따른 영향은 크지 않았으며, 특히 5 kGy 범위의 살균선량에서는 비교적 안정된 함량을 보여주었다.

2) 고추 capsaicin 함량의 변화

방사선 조사된 고추 분말의 매운맛 성분의 변화를 알아보기 위하여 capsaicin과 dihydrocapsaicin을 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. Capsaicin과 dihydrocapsaicin은 방사선 조사에 대하여 비교적 안정한 것으로 나타났다. 각 처리구에서 capsaicin과 dihydrocapsaicin의 함량은 각각 13.44~14.28 mg%와 16.56~17.58 mg% 범위로써 살균처리에 따라 다소간의 함량 차이가 나타났으나 살균선량범위에서는 유의적인 변화가 아니라고 판단된다. 변 등³²⁾은 capsaicin은 dihydrocapsaicin 보다 안정하며, 이들 성분은 감마선 조사에 대하여 안정한 것으로 보고하여 본 실험의 결과와 유사한 경향이었다. 고추장 분말의 경우에 성분의 함량은 상이하나 전자선 및 감마선 조사의 영향은 거의 나타나지 않았다.

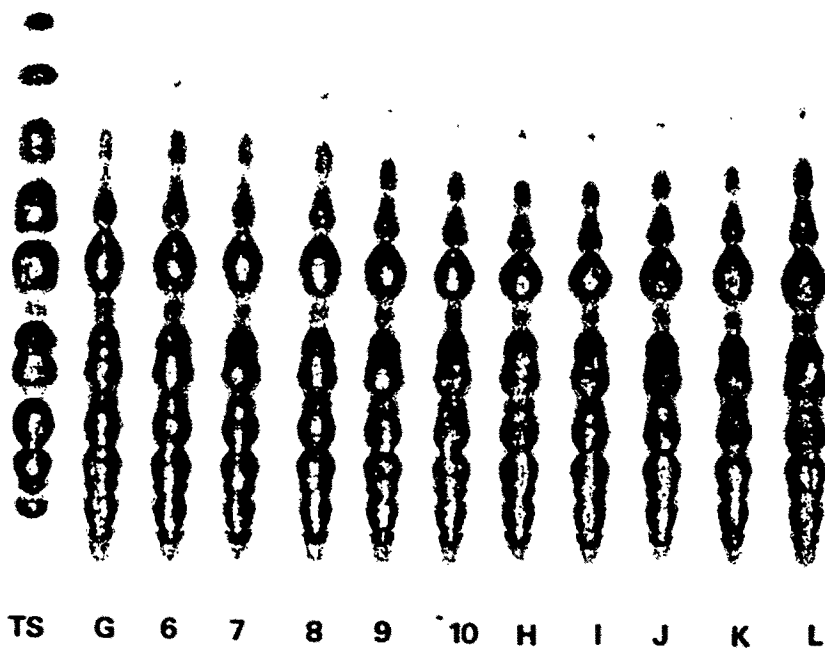


Fig. 2. TLC chromatogram of saponin patterns of irradiated-white ginseng powders with electron beam(EB) and gamma ray(GR). TS: ginsenoside standard, G: control, 6: 2.5 kGy-GR, 7: 5kGy-GR, 8: 7.5 kGy-GR, 9: 10 kGy-GR, 10:15 kGy-GR, H: 2.5kGy-EB, I: 5kGy-EB, J: 7.5 kGy-EB, K: 10 kGy-EB, L: 15 kGy-EB, TLC developing solvents : chloroform/methanol/water = 65/35/10, v/v/v.

Table 12. Comparative effects of electron beam(EB) and gamma ray(GR) on saponin components of white and red ginseng powders during storage

Storage month	Saponin (%)	White ginseng						Red ginseng					
		Control		5kGy		10kGy		Control		5kGy		10kGy	
		EB	GR	EB	GR	EB	GR	EB	GR	EB	GR	EB	GR
0	Rg ₁	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10
	Re	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.13	0.13
	Rd	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	Rc	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.20	0.26	0.26	0.26	0.27	0.25	0.26
	Rb ₂	0.22	0.21	0.22	0.22	0.21	0.20	0.31	0.30	0.30	0.32	0.30	0.30
	Rb ₁	0.33	0.34	0.33	0.34	0.33	0.31	0.41	0.41	0.43	0.45	0.41	0.41
Total		1.12	1.12	1.12	1.13	1.10	1.05	1.30	1.29	1.32	1.38	1.27	1.28
4	Rg ₁	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11
	Re	0.15	0.16	0.16	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17	0.17	0.17	0.15	0.15
	Rd	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
	Rc	0.19	0.20	0.21	0.22	0.17	0.16	0.26	0.26	0.25	0.26	0.26	0.26
	Rb ₂	0.22	0.22	0.23	0.23	0.20	0.19	0.30	0.29	0.28	0.32	0.29	0.29
	Rb ₁	0.34	0.35	0.35	0.35	0.31	0.29	0.40	0.40	0.41	0.42	0.40	0.40
Total		1.09	1.11	1.14	1.14	1.00	0.93	1.29	1.29	1.30	1.36	1.29	1.30

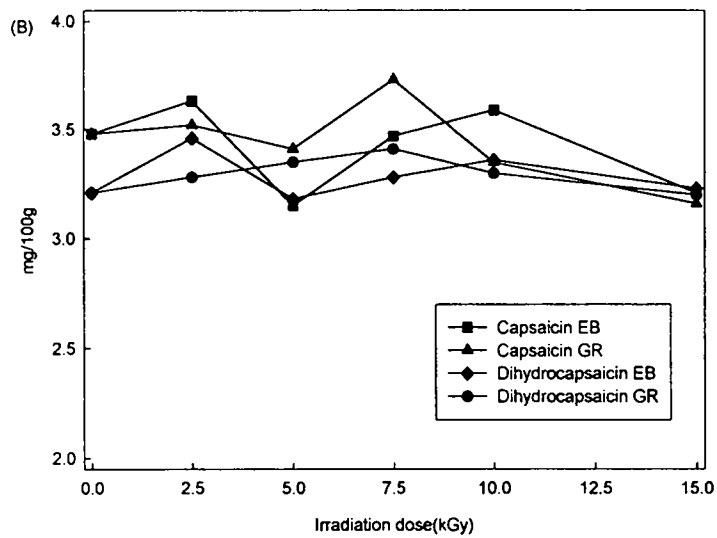
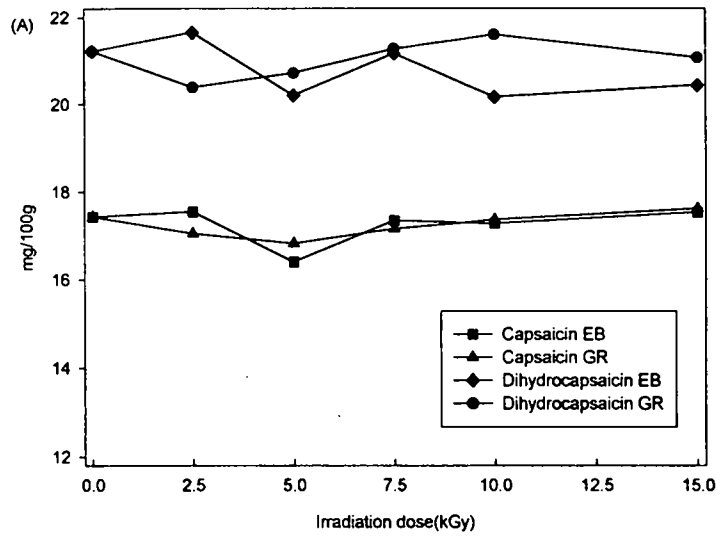


Fig. 3. Comparative effects of electron-beam and gamma-ray irradiation on capsaicin and dihydrocapsaicin contents of powdered red pepper(A) and kochujang(B).

3) 생강의 gingerol 함량의 변화

생강의 매운맛 성분으로는 gingerol, shogaol, zingerone 등이 있다. 그러나 shogaol과 zingerone은 가공조건과 장기저장에 따라 생성되는 미량의 물질³³⁾이므로 본 실험에서는 생강분말의 매운맛 성분에 대한 전자선 조사의 영향을 알아보기 위하여 gingerol의 함량을 HPLC로서 분석하였다. Fig. 4와 같이 gingerol 함량은 전자선과 감마선에서 거의 차이가 없이 조사선량에 따라 각각 154.1~165.6 mg%와 152.3~165.8 mg% 범위를 보였으며, 처리구 간에 다소의 변화는 있었으나 그 차이는 크지 않아 생강분말의 품질에 미치는 영향이 거의 없을 것으로 생각되며, 저장 중에도 비교적 안정할 것으로 예상된다.

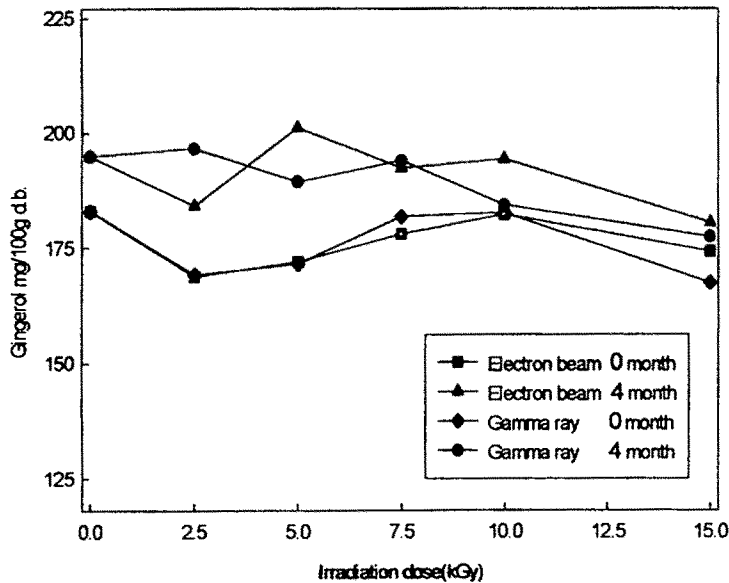


Fig. 4. Comparative effects of electron-beam and gamma-ray irradiation on gingerol contents of powdered ginger during storage.

라. 농산가공품의 전자공여능

항산화 물질의 가장 특이적인 기작은 oxidative free radical과의 반응이다. 본 실험에서 시료분말의 방사선 조사와 저장기간에 따른 추출액의 항산화성을 안정한 free radical인 α, α' -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH)에 의한 흡광도의 감소현상으로 측정하였다. Fig. 5는 인삼분말 시료의 전자공여능에 대한 살균처리의 영향을 검토한 것으로서 인삼분말과 장류분말은 방사선 처리 및 4개월 저장의 영향이 거의 나타나지 않았다. 그러나 고추 및 생강 분말에서는 처리 직후 전자공여능이 직선적으로 감소하였으나 저장 4개월 이후에는 전반적으로 전자공여능이 증가하면서 선량간의 차이도 거의 같은 수준으로 나타났다.

마. 농산가공품의 TBA value

지방질의 안정성에 대한 살균처리의 영향을 알아보기 위하여 thiobarbituric acid value (TBA 가)를 측정하여 본 결과는 Table 13과 같다. 처리직후 TBA 가는 조사선량의 증가와 더불어 비례적으로 증가됨을 알 수 있었다. 이 때 분말시료와 살균방법에 따른 차이는 거의 없었다. 또한 시료를 실온에서 4개월간 저장 후에는 생강 및 고추 분말의 경우 무처리구의 증가가 현저하였으나 대부분의 시료에서는 방사선 조사구의 값이 점진적으로 높게 나타났다. 방사선 조사가 지방산패를 촉진하여 malonaldehyde 및 glyoxal 등을 생성해 TBA와 적색중합체를 많이 형성하고 특히 산소 존재하에서 지방질에 고선량의 감마선을 조사하였을 때 상당량의 peroxide와 carbonyl 화합물이 생성되는 것으로 알려져 있다³⁴⁾.

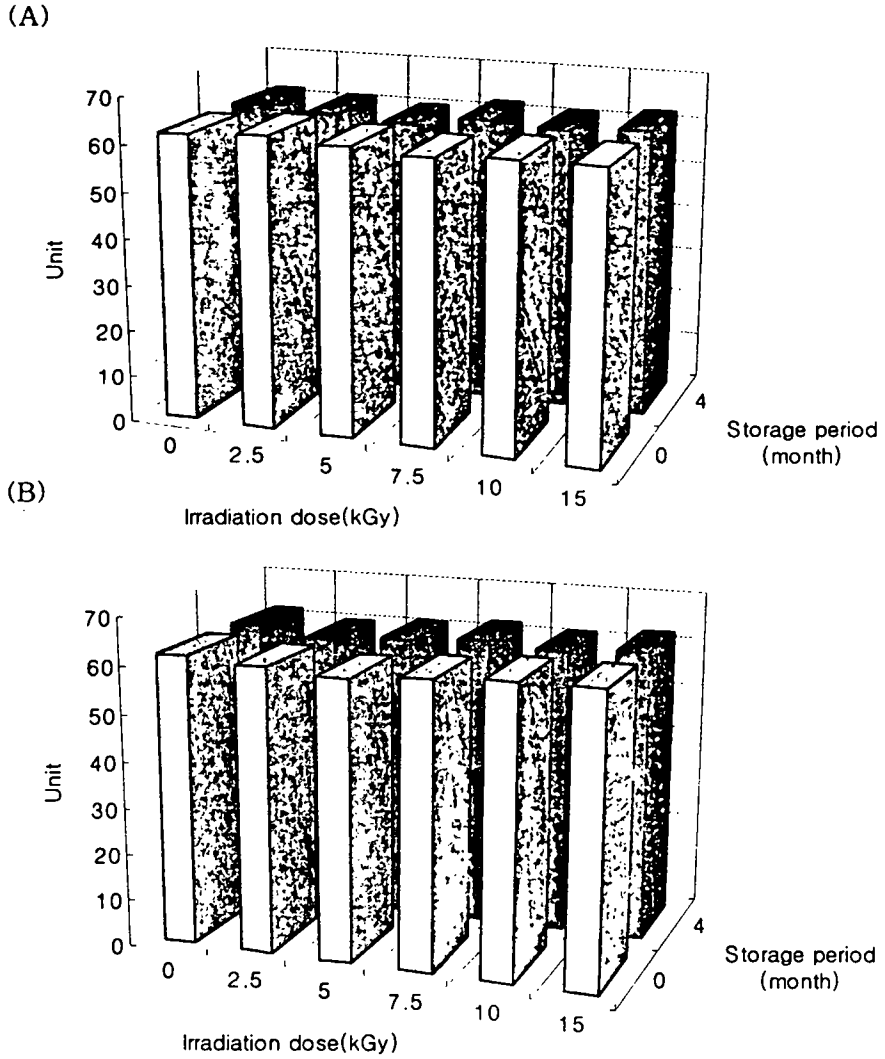


Fig. 5. Comparative effect of electron-beam(A) and gamma-ray(B) irradiation on electron donating ability of powdered red ginseng during storage.

Table 13. Comparative effects of electron-beam(EB) and gamma-ray(GR) irradiation on TBA value of powdered agricultural products during storage. (unit : O.D. at 538nm)

Sample	Energy type	Storage period (month)	Irradiation dose (kGy)					
			0	2.5	5.0	7.5	10	15
White ginseng	EB	0	0.285	0.300	0.321	0.337	0.346	0.341
		4	0.268	0.306	0.328	0.349	0.359	0.397
	GR	0	0.285	0.286	0.316	0.326	0.321	0.325
		4	0.268	0.283	0.313	0.333	0.342	0.373
Red ginseng	EB	0	0.121	0.271	0.311	0.340	0.367	0.376
		4	0.325	0.469	0.522	0.590	0.593	0.670
	GR	0	0.121	0.222	0.247	0.292	0.293	0.320
		4	0.325	0.510	0.546	0.554	0.592	0.619
Red pepper	EB	0	0.695	0.711	0.776	0.762	0.786	0.791
		4	0.818	0.745	0.762	0.774	0.803	0.797
	GR	0	0.695	0.709	0.717	0.742	0.737	0.741
		4	0.818	0.725	0.737	0.757	0.804	0.813
Ginger	EB	0	0.072	0.076	0.082	0.092	0.103	0.106
		4	0.213	0.093	0.100	0.110	0.125	0.134
	GR	0	0.072	0.076	0.092	0.097	0.101	0.108
		4	0.213	0.093	0.104	0.114	0.138	0.147
Meju	EB	0	0.156	0.170	0.184	0.197	0.201	0.216
		4	0.195	0.208	0.215	0.234	0.249	0.271
	GR	0	0.156	0.175	0.183	0.191	0.209	0.236
		4	0.195	0.219	0.232	0.247	0.266	0.297
Kochujan g	EB	0	0.226	0.245	0.261	0.309	0.324	0.356
		4	0.276	0.314	0.334	0.349	0.362	0.391
	GR	0	0.226	0.281	0.301	0.328	0.330	0.372
		4	0.276	0.296	0.331	0.341	0.379	0.409
Soybean paste	EB	0	0.252	0.301	0.314	0.339	0.341	0.381
		4	0.426	0.466	0.479	0.490	0.503	0.524
	GR	0	0.252	0.306	0.350	0.371	0.415	0.464
		4	0.426	0.459	0.482	0.497	0.514	0.551

바. 농산가공품의 지방산 조성

방사선이 조사된 인삼분말의 조지방 함량은 백삼분말의 경우 0.92 %, 홍삼분말은 약 1.02 % 수준이다. 특히 지방 및 지용성 성분은 저수분 상태에서 산화되기 쉬운 점 등을 감안해 볼 때, 분말의 저장중에는 지방질 성분의 변화에 따른 품질변화가 일어날 것으로 생각되며, 따라서 지방산 조성 변화를 살균처리 직후 분석한 결과는 Table 14와 같이 각 시료에서 15종의 구성지방산이 확인되었으며, 모든 시험구에서 동일한 지방산 패턴을 보여주었다. 본 시료의 주요 지방산은 linoleic acid (C18:2, 홍삼 약 70 %, 백삼 약 60 %), palmitic acid (C16:0, 홍삼 약 10 %, 백삼 약 18 %) 및 linolenic acid (C18:3, 홍삼, 백삼 각 5 %) 등의 순으로 전체 지방산의 약 75~85 %를 차지하였고, oleic acid를 포함한 총 불포화 지방산 (TUFA) 조성 비율은 홍삼은 약 88 %, 백삼은 약 73 %로 비조사구나 전자선 및 감마선 조사구간에 아무런 변화가 없었다.

한편 고추 및 생강 분말의 조지방 함량은 고추분말의 경우 12.57 %, 생강분말은 2.10 % 수준이었고, 지방산 조성 변화를 살균처리 직후 분석한 결과는 Table 15와 같다. 고추 분말의 경우 각 시료에서 16종의 구성 지방산이 확인되었으며, 모든 시료에서 동일한 지방산 패턴을 보여 주었다. 주요 지방산은 linoleic acid와 oleic acid (C18:1), palmitic acid가 약 79 % 수준으로 높은 함량이었고, 그 다음이 linolenic acid와 stearic acid(C18:0)의 순으로 나타났다. 살균처리에 따른 변화를 보면 방사선이 조사된 시료의 경우 10 kGy까지의 조사선량에서는 비조사구와 지방산 조성에서 유의적인 변화를 보이지 않았다. 방사선이 조사된 생강 분말의 경우 각 시료에서 9종의 구성지방산이 확인되었으며, 또한 모든 시료에서 동일한 지방산 패턴을 보여 주었다. 주요 지방산은 linoleic acid와 palmitic acid가 약 78 % 수준이었고, 그 다음이 oleic acid, linolenic acid의 순으로 나타났다. 살균처리 방법에 따른 변화를 보면

고추분말의 경우와 마찬가지로 10 kGy까지의 조사선량에서는 지방산 조성에서 비조사구와의 유의적인 변화를 보이지 않았다. 따라서 살균선량의 방사선 조사는 분말시료의 지방산 성분에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

또한 방사선이 조사된 메주, 고추장 및 된장 분말의 지방산 조성 변화를 살균처리 직후 분석한 결과는 Table 16과 같다. 메주 분말의 경우 각 시료에서 8종의 구성지방산이 확인되었으며, 모든 시료에서 유사한 지방산 패턴을 보여 주었다. 주요 지방산은 linoleic acid와 oleic acid, palmitic acid가 약 89 % 수준으로 높은 함량이었고, 그 다음이 linolenic acid와 stearic acid의 순으로 나타났다. 고추장 분말의 경우 각 시료에서 6종의 구성지방산이 확인되었으며, 본 시료의 주요 지방산은 linoleic acid 57.95 %, oleic acid 20.40 %, palmitic acid 12.48 % 등의 순으로 전체 지방산의 약 90 %를 차지하였고, 그 다음이 linolenic acid와 stearic acid의 순으로 나타났으며, 비조사구나 전자선 및 감마선 조사구간에 10 kGy까지의 조사선량에서는 유의적인 변화를 보이지 않았다. 살균처리된 된장 분말의 경우 각 시료에서 7종의 구성지방산이 확인되었으며, 주요 지방산은 linoleic acid와 oleic acid가 약 77 % 수준이었고, 그 다음이 palmitic acid, linolenic acid의 순으로 나타났다. 살균처리 방법에 따른 변화를 보면 메주 및 고추장 분말의 경우와 마찬가지로 10 kGy까지의 조사선량에서는 지방산 조성에서 비조사구와의 유의적인 변화를 보이지 않았다. 따라서 살균선량의 방사선 조사는 분말시료의 지방산 성분에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

Table 14. Comparative effects of electron-beam and gamma-ray irradiation on fatty acid composition of powdered white and red ginseng

(unit: relative peak area %)

Sample	Fatty acid		Irradiation dose(kGy)					
			Electron beam			Gamma ray		
			0	5	10	0	5	10
White gingeng	Myristic acid	14:0	0.22	0.19	0.19	0.22	0.19	0.21
		15:0	0.51	0.58	0.58	0.51	0.56	0.60
	Palmitic acid	16:0	18.13	18.88	18.79	18.13	18.24	18.03
		Palmitoleic acid	16:1	1.0	0.97	0.97	1.0	1.01
	17:0		0.55	0.51	0.52	0.55	0.50	0.51
	Stearic acid	18:0	1.52	1.49	1.49	1.52	1.52	1.47
	Oleic acid	18:1	7.91	7.90	7.68	7.91	8.13	7.94
	Linoleic acid	18:2	61.56	60.60	6.42	61.56	60.69	61.79
	Linolenid acid	18:3	4.87	4.87	4.84	4.87	5.16	4.89
	Arachidonic acid	20:0	0.45	0.52	0.40	0.45	1.01	0.49
	Galdoleic acid	20:1	0.52	0.56	0.48	0.52	0.67	0.58
		22:0	0.75	0.80	0.78	0.75	0.80	0.76
		22:1	0.80	0.94	0.82	0.80	0.78	0.78
		24:0	0.75	0.75	0.61	0.75	0.54	0.61
	Behenic acid	24:1	0.44	0.43	0.42	0.44	0.22	0.32
SFA ¹⁾		22.89	23.83	23.37	22.89	23.34	23.53	
MUFA ²⁾		10.68	10.80	10.37	10.68	10.81	10.62	
PUFA ³⁾		66.43	65.37	66.26	66.43	65.85	65.85	
Red gingeng	Myristic acid	14:0	0.18	0.16	0.16	0.18	0.16	0.17
		15:0	0.58	0.57	0.59	0.58	0.57	0.57
	Palmitic acid	16:0	9.35	9.91	10.03	9.35	9.66	9.84
		Palmitoleic acid	16:1	1.51	1.52	1.47	1.51	1.51
	17:0		0.35	0.36	0.37	0.35	0.36	0.37
	Stearic acid	18:0	0.87	0.89	0.92	0.87	0.86	0.90
	Oleic acid	18:1	7.23	7.28	7.19	7.23	7.31	7.13
	Linoleic acid	18:2	70.97	70.62	70.07	70.97	70.60	70.78
	Linolenid acid	18:3	5.57	5.43	5.41	5.57	5.46	5.45
	Arachidonic acid	20:0	0.38	0.43	0.50	0.38	0.37	0.31
	Galdoleic acid	20:1	0.59	0.48	0.58	0.59	0.53	0.51
		22:0	0.44	0.53	0.63	0.44	0.49	0.53
		22:1	1.22	1.09	1.31	1.22	1.28	1.12
		24:0	0.38	0.31	0.33	0.38	0.37	0.36
	Behenic acid	24:1	0.37	0.51	0.43	0.37	0.47	0.46
SFA ¹⁾		12.54	13.07	13.54	12.54	12.84	13.04	
MUFA ²⁾		10.92	10.88	10.98	10.92	11.10	10.73	
PUFA ³⁾		76.54	76.05	75.48	76.54	76.06	76.23	

¹⁾SFA : total saturated fatty acids.

²⁾MUFA : total monounsaturated fatty acids.

³⁾PUFA : total polyunsaturated fatty acids.

Table 15. Comparative effects of electron-beam and gamma-ray irradiation on fatty acid composition of powdered red pepper and ginger (unit: relative peak area %)

Sample	Fatty acid	Irradiation dose(kGy)						
		Electron beam			Gamma ray			
		0	5	10	0	5	10	
Red pepper	Caprylic acid	8:0	0.58	0.55	0.51	0.58	0.52	0.64
	Capric acid	10:0	1.98	2.50	2.37	1.98	2.47	3.04
	Lauric acid	12:0	1.24	1.38	1.27	1.24	1.39	1.57
	Myristic acid	14:0	0.62	0.70	0.68	0.62	0.71	0.80
	Palmitic acid	16:0	19.87	20.26	19.26	19.87	19.38	19.49
	Palmitoleic acid	16:1	0.63	0.70	0.70	0.63	0.70	0.73
		17:0	0.45	0.45	0.49	0.45	0.48	0.58
	Stearic acid	18:0	2.45	2.35	2.39	2.45	2.15	1.96
	Oleic acid	18:1	15.22	15.22	15.45	15.22	14.81	13.85
	Linoleic acid	18:2	43.79	44.32	45.48	43.79	43.61	42.92
	Linolenid acid	18:3	8.10	8.12	8.72	8.10	8.48	8.30
	Arachidonic acid	20:0	0.41	0.57	0.55	0.41	2.32	0.51
	Galdoleic acid	20:1	0.63	0.68	0.70	0.63	0.61	0.74
		20:2	1.85	0.84	0.25	1.85	0.41	-
21:0		0.95	0.31	0.33	0.95	0.41	-	
Behenic acid	22:0	1.54	1.05	0.84	1.54	1.55	4.85	
	SFA ¹⁾		30.09	30.12	28.69	30.09	31.38	33.44
	MUFA ²⁾		16.48	16.6	16.85	16.48	16.12	15.32
	PUFA ³⁾		53.74	53.28	54.45	53.74	52.5	51.22
Ginger	Lauric acid	12:0	0.27	0.28	0.34	0.27	0.36	0.29
	Myristic acid	14:0	1.17	1.15	1.39	1.17	1.36	1.18
	Palmitic acid	16:0	13.75	12.93	15.39	13.75	13.28	13.42
	Palmitoleic acid	16:1	0.47	0.47	0.54	0.47	0.51	0.46
	Stearic acid	18:0	3.15	3.03	3.18	3.15	2.75	3.13
	Oleic acid	18:1	11.82	11.17	6.79	11.82	11.40	11.55
	Linoleic acid	18:2	64.93	62.37	67.41	64.93	62.78	63.13
	Linolenic acid	18:3	3.91	3.78	4.18	3.91	3.88	3.75
	Arachidonic acid	20:0	0.52	4.83	0.78	0.52	2.09	3.09
		SFA		18.86	22.22	21.08	18.86	19.84
	MUFA		12.29	11.64	7.33	12.29	11.91	12.01
	PUFA		68.84	66.15	71.59	68.84	66.66	66.88

¹⁾SFA : total saturated fatty acids.

²⁾MUFA : total monounsaturated fatty acids.

³⁾PUFA : total polyunsaturated fatty acids.

Table 16. Comparative effects of electron-beam and gamma-ray irradiation on fatty acid composition of powdered Meju, Kochujang and soybean paste. (unit: relative peak area %)

Sample	Fatty acid		Irradiation dose(kGy)					
			Electron beam			Gamma ray		
			0	5	10	0	5	10
Meju	Myristic acid	14:0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Palmitic acid	16:0	12.32	12.29	12.29	12.32	11.92	12.25
	Palmitoleic acid	16:1	0.11	0.11	0.12	0.11	0.10	0.16
	Stearic acid	18:0	3.77	3.71	3.73	3.77	3.73	3.85
	Oleic acid	18:1	21.49	21.44	21.27	21.49	21.71	21.61
	Linoleic acid	18:2	55.23	55.36	55.72	55.23	55.47	55.39
	Linolenic acid	18:3	6.88	6.89	6.73	6.88	6.95	6.58
	Arachidic acid	20:0	0.13	0.13	0.07	0.13	0.05	0.09
	SFA ¹⁾		16.29	16.20	16.16	16.29	15.77	16.26
	MUFA ²⁾		21.60	21.55	21.39	21.60	21.81	21.77
PUFA ³⁾		62.11	62.25	62.45	62.11	62.42	61.97	
Kochu- jang	Palmitic acid	16:0	12.48	13.04	12.87	12.48	12.69	12.98
	Palmitoleic acid	16:1	0.30	0.34	0.38	0.30	0.37	0.32
	Stearic acid	18:0	2.54	3.43	3.12	2.54	2.75	3.02
	Oleic acid	18:1	20.40	19.59	19.55	20.40	20.11	19.87
	Linoleic acid	18:2	57.95	55.71	57.29	57.95	57.49	57.08
	Linolenic acid	18:3	6.34	7.89	6.79	6.34	6.59	6.73
	SFA ¹⁾		15.02	16.47	15.99	15.02	15.44	16.00
	MUFA ²⁾		20.70	19.93	19.93	20.70	20.48	20.19
	PUFA ³⁾		64.29	63.60	64.08	64.29	64.08	63.81
	Soybean pastes	Myristic acid	14:0	0.34	0.38	0.35	0.34	0.36
Palmitic acid		16:0	13.86	14.10	14.26	13.86	14.33	15.12
Palmitoleic acid		16:1	0.38	0.37	0.38	0.38	0.42	0.35
Stearic acid		18:0	3.13	3.11	2.51	3.13	3.44	2.95
Oleic acid		18:1	18.75	18.86	18.69	18.75	20.10	18.57
Linoleic acid		18:2	58.24	58.14	58.82	58.24	56.57	57.92
Linolenic acid		18:3	5.31	5.05	4.99	5.31	4.79	4.72
SFA ¹⁾			17.33	17.59	17.12	17.33	18.13	18.44
MUFA ²⁾			19.13	19.23	19.07	19.13	20.52	18.92
PUFA ³⁾			63.55	63.19	63.81	63.55	61.36	62.64

¹⁾SFA : total saturated fatty acids.

²⁾MUFA : total monounsaturated fatty acids.

³⁾PUFA : total polyunsaturated fatty acids.

3. 농산가공품의 관능적 품질

살균 처리된 시료의 관능적 품질평가에서 인삼의 고유한 냄새와 색깔에 대한 기호도로서 무처리 대조군 (control)와 5 kGy 및 10 kGy 전자선 및 감마선 조사 시료를 각각 대상으로 하여 (총 5시료) 다시료 비교법을 실시하였다. 그 결과 Table 17과 같이 10 kGy의 전자선 조사는 백삼 및 홍삼 분말의 색과 홍삼 분말의 냄새에 유의적인 변화를 가져왔으며 ($p < 0.05$), 나머지 시험구에서는 시료 간에 색이나 냄새에 있어서 유의적인 차이가 없었다. 또한 시료를 실온에서 4개월간 저장한 후 동일한 방법의 관능검사를 실시해 보았을 때 각 시료의 관능적 품질에는 유의성이 없었다.

전자선 조사된 고추 및 생강 분말의 관능적 품질평가는 색깔과 고유한 냄새에 대한 기호도로서 두 시료에 대한 관능 평점은 3.13~5.88 범위로 대조시료와 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 그러나 10 kGy 이상의 방사선 조사는 향신료 분말의 색깔과 고유한 냄새에 대하여 유의적인 변화를 초래하였다($p < 0.05$). 이 같은 경향은 전자선보다 감마선에서 다소 현저하게 나타났으며, 실온에서 4개월간 저장된 시료에 있어서도 관능평점은 유사한 경향이였다. 또한 장류분말의 관능적 품질 평가에서는 관련 업계의 방법에 따라 장류분말을 1 % 수용액으로 조제하여 50℃ 내외의 온도에서 10명의 검사요원에 의해 10 kGy까지 전자선 및 감마선 조사된 시료의 색깔, 맛 및 냄새에 대하여 평가한 결과, 10 kGy의 전자선 조사된 된장분말의 맛을 제외하고는 처리구 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다 (Table 17).

Table 17. Sample means and F-value for sensory parameter of powdered agricultural products irradiated with electron beam(EB) and gamma ray(GR)

Sample	Sensory parameter	Energy type	Irradiation dose(kGy)			F-value
			0	5	10	
White ginseng	Color	EB	4.75 ^a	4.75 ^a	5.25 ^b	3.93
		GR	4.75 ^a	4.50 ^a	4.38 ^a	
	Odor	EB	4.50 ^a	5.13 ^a	4.75 ^a	1.82
		GR	4.50 ^a	4.50 ^a	4.50 ^a	
Red ginseng	Color	EB	5.38 ^a	4.63 ^a	6.38 ^b	5.50
		GR	5.38 ^a	4.75 ^a	5.13 ^a	
	Odor	EB	4.75 ^a	5.00 ^a	5.38 ^b	3.33
		GR	4.75 ^a	4.88 ^a	5.50 ^b	
Red pepper	Color	EB	5.00 ^{ab}	5.63 ^a	4.75 ^{ab}	1.23
		GR	5.00 ^{ab}	4.63 ^{ab}	4.25 ^{ab}	
	Odor	EB	5.00 ^a	5.75 ^a	5.50 ^a	0.44
		GR	5.00 ^a	5.13 ^a	4.88 ^a	
Ginger	Color	EB	5.00 ^{ab}	5.88 ^a	5.00 ^{ab}	1.78
		GR	5.00 ^{ab}	4.88 ^{ab}	4.00 ^b	
	Odor	EB	5.00 ^{ab}	5.38 ^{ab}	5.00 ^{ab}	1.96
		GR	5.00 ^{ab}	4.25 ^{abc}	4.00 ^{bc}	
Meju	Color	EB	5.00 ^a	5.40 ^a	5.40 ^a	1.76
		GR	5.00 ^a	4.50 ^a	4.60 ^a	
	Taste	EB	5.00 ^a	4.60 ^a	4.80 ^a	0.08
		GR	5.00 ^a	4.60 ^a	4.80 ^a	
	Odor	EB	5.00 ^a	5.10 ^a	5.20 ^a	0.23
		GR	5.00 ^a	4.90 ^a	4.80 ^a	
Kochujang	Color	EB	5.00 ^a	4.40 ^a	5.00 ^a	0.63
		GR	5.00 ^a	4.30 ^a	4.80 ^a	
	Taste	EB	5.00 ^a	5.30 ^a	5.40 ^a	0.43
		GR	5.00 ^a	5.40 ^a	4.80 ^a	
	Odor	EB	5.00 ^a	5.20 ^a	5.30 ^a	0.11
		GR	5.00 ^a	5.00 ^a	5.00 ^a	
Soybean paste	Color	EB	5.00 ^a	5.50 ^a	4.90 ^a	0.85
		GR	5.00 ^a	4.50 ^a	5.00 ^a	
	Taste	EB	5.00 ^a	5.40 ^a	4.10 ^b	2.84
		GR	5.00 ^a	5.40 ^a	5.20 ^a	
	Odor	EB	5.00 ^a	5.00 ^a	4.60 ^a	0.44
		GR	5.00 ^a	5.00 ^a	5.20 ^a	

^{abc)}Means in the same row with different superscripts are significantly different.

제 4 절 결론 및 건의 사항

국내에서 생산되고 있는 농산가공품류는 제조과정 중 미생물의 오염가능성이 매우 높아 대부분 살균처리가 요구되고 있다. 기존의 살균 방법이었던 에틸렌옥시드 (ethylene oxide, E.O) 훈증법이 국내에서도 사용이 금지된 이래 거의 유일한 대체기술로써 감마선 조사법이 허가되어 허가된 식품류를 대상으로 살균처리되고 있다. 그러나 방사성동위원소에서 발생되는 감마선 에너지에 대하여 소비자들의 인식은 충분하지 못한 실정이며, 따라서 조사식품에 대한 수용성을 높이기 위해서는 국가적인 차원의 홍보노력과 새로운 조사선원의 확대 연구도 요구되고 있다.

본 연구에서는 내수 및 특히 수출상품에 있어서 미생물학적/위생적 품질관리에 많은 어려움을 겪고 있는 대표적인 전통 농산가공품 (인삼분말, 향신료 고추/생강 분말, 장류분말)을 대상으로 전자선을 이용한 새로운 살균기법의 확보 방안을 마련하고자 하였다.

몇 가지 농산건조 가공품에 오염된 미생물의 살균효과와 살균 시료의 물리적·화학적 및 관능적 실험 결과를 종합하여 볼 때 전자선과 감마선은 살균효과가 유사하고 품질 특성에 미치는 영향도 비슷하였으며, 특히 고선량 (10 kGy 이상) 조사구에서는 기계적 및 관능적 측정시 시료의 색에서 유의적인 변화가 확인되었다. 그러나 농산 건조가공품의 미생물 수준이 g당 10^6 범위 이하이고 미생물 규격은 대장균군이 음성, 총세균수가 g당 10^4 이하임을 감안하여 볼 때 5~7 kGy 범위의 전자선 조사로도 농산 가공품의 미생물학적 품질개선이 가능할 것으로 생각된다.

따라서 전자선 에너지 특성 (고에너지, 저투과도)을 고려하여 식품의 표면살균이 필요한 분말식품류, 곡류 등의 살균·살충처리가 가능할 것이다. 더욱이 식품에 대한 전자선에너지 (10 MeV 이하)의 이용은 WHO/FAO Codex 식품규격에도 관련 규정이 채택된 만큼 그 안전성과 기술적 타당성이 인정되어 있으므로, 본 연구결과 등을 기초로 국내에서도 이에 관련된

규정의 마련이 선행된다면 실용화 추진이 앞당겨질 것이다.

본 실험에 사용된 농산 건조가공품 시료들은 국내 수요 및 수출상품의 제조에 있어서 가장 광범위하게 사용되고 있는 대표적인 품목들이다. 따라서 본 연구에서 얻어진 전자선 살균 효과는 감마선 조사와 비교 확인되었으므로 적용선량 범위는 이용이 가능할 것이다. 국내에서는 본 연구에 사용된 시료들에 대하여 7 kGy 또는 10 kGy 이하의 감마선 조사가 허가되어 있다. 따라서 동일 범위의 전자선 조사선량에서도 감마선과 유사한 살균효과가 확인되었으므로 국내의 법적제도 마련을 위해 본 연구의 결과가 활용될 수 있을 것이다.

이와 같이 본 연구의 결과는 첫째, 보건복지부 식품공전의 “식품의 방사선 조사기준” 개정을 위한 근거자료로 활용되면서 허용대상 식품별 흡수선량의 결정에 활용되어질 것이다. 또한 비약제·비열처리로써 국내 식품산업에 새로운 살균·살충기술 기반을 제공하여 농산가공산업의 경쟁력 제고와 세계화에 기여하게 될 것이다.

제 5 절 참고문헌

1. Katusin-Razem, B., Matic, S., Razem, D., Mihokovic, V. : Radiation decontamination of tea herbs. J. Food Sci., 53, 1120-(1988)
2. 대한민국 보건복지부 : 식품공전, p39, 507~550(1997)
3. Vajdi, M. and Pereine, R.R. : Comparative effect of ethylene oxide, γ - irradiation and microwave treatments on selected spices. J. Food Sci., 38, 893-895(1973)
4. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O. : Quality evaluation of ground garlic and onions treated with chemical fumigants and ionizing radiation. Korean J. Food Sci. Technol., 19, 107-112(1987)
5. IAEA : Food and Environmental Protection Newsletter Supplement.1(2), 1~7(1998)
6. 권중호, 정형욱 : Food irradiation의 과학적 근거와 연구과제. 식품 과학과 산업, 31(2), 31-49 (1998)
7. 林 徹 : 電子お用いた食品の殺菌. New Food Ind., 39(1), 75-78(1997)
8. Codex Alimentarius Commission : Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods. CAC/VOL. XV, FAO, Rome(1984)
9. IAEA : Clearance of item by name. Food Irradiation Newsletter, 20(2), Supplement-2(1998)
10. 이무하 : 전자선을 이용한 신선근육식품의 저수준 방사선 조사. 식품 과학과 산업, 28(2), 13~22(1995)
11. Ito, H. and Islam, S. : Effect of dose rate on inactivation of micro-organisms in spices by electron-beams and gamma-rays

- irradiation. *Radiat. Phys. Chem.*, 43(6), 545-550(1994)
12. Kwon, J.H., Byun, M.W. and Cho, H.O : Development of food irradiation technology and consumer attitude toward irradiation food in korea. *Radioisotopes*, 41, 654-662(1992)
 13. Hawer, W.S., Ha, J., Hwang, J., and Nam, Y. : Effective separation and quantitative analysis of major heat principles in red pepper by capillary gas chromatography. *Food Chem.*, 49, 99(1994)
 14. WHO : Review of the safety and nutritional adequacy of irradiated food, p.22-23(1994)
 15. American Public Health Association : Compendium of methods for the Microbiological Examination of Foods, M. Speck(ed.), APHA, Washington, D.C., p.75(1992)
 16. Harrigan, W.F. and Mccance, M.E. : *Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology*, Academic Press, London, p.139(1976)
 17. Rosebrook, D. D., Bolze, C. C. and Barney, J. E. : Improved method for determination of extractable color in Capsicum spices. *J. A.O.A.C.*, 51, 637(1968)
 18. 최진호, 김우정, 양재원, 성현순, 홍순근 : 열처리에 의한 홍삼엑기스의 성분변화. *한국농화학회지*, 24(1), 166~171(1981)
 19. 한국인삼연초연구원 : 1996년 인삼연구보고서(제품분야), p. B105~B111(1996)
 20. 고성룡, 최강주, 김석창, 김나미 : 生藥複方 드링크濟 中 乾薑成分의 確認 및 6-Gingerol 의 分離 定量. *고려인삼학회지*, 14(3), 442-446(1990)
 21. 이기동 : 복합기질계 Maillard 반응에 있어서 향산화성 및 향들연변이 원성에 대한 Melanoidin의 최적화. *경북대학교 박사학위논문* (1990)

22. 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. J. Agric. Food Chem., 8, 326(1954)
23. Metcalf, L.D., Schmitz, A.A. and Pelka, J.R. : Rapid preparation of fatty acid esters from lipid for gas chromatographic analysis, Anal. Chem., 38, 514(1966)
24. Elizabeth Iarmond : Methods for Sensory Evaluation of Food, Food Research Institute, central Experimental Fram, Ottawa., p19~24(1970)
25. SAS : SAS Users Guide, SAS Institute Inc., Cary, NC. (1986)
26. 이철호, 채봉규, 이신근, 박봉상 : 食品工業品質管理論, 유림문화사, 서울, p.296-300(1982)
27. 대한민국 보건복지부 : 식품공전, p.491-493(1997)
28. 권중호 : 식품조사의 국제적 허가현황 및 실용화 전망. 식품공업, 133, 18~49(1996)
29. Chen, C. C. and Ho, C.T. : Identification of sulfurous compounds of mushroom (*lentinus dodes* Sing.) J. Agric. Food Chem., 34, 830 (1986)
30. Farkas, J. and Beczner, K. : Radiation Preservation of Food, IAEA-SM-166, p.389(1973)
31. 변명우, 강일준, 권중호, 이수정, 김성곤 : 옥수수 전분추출 공정개선을 위한 감마선 이용. 한국식품과학회지, 27(1), 30~35(1995)
32. 변명우, 옥홍선, 권중호, 김정옥 : 감마선 조사에 의한 견고추의 위생화와 장기 안전저장. 한국식품과학회지, 28(3), 482-489(1996)
33. Connell, D.W. : The pungent principles of ginger and thier importance in certain ginger products. Food Technol Austral., 21, 570(1969)

34. Cho, H.O., Byun, M.W., Kang, I.J., Youk, H.S. and Kwon, J.H.
:Improvement of hygienic quality of white ginseng powders by
gamma irradiation. Radioisotopes. 43(1994)