

우육에 오염시킨 병원세균의 방사선 감수성

육홍선 · 김 성 · 이경행 · 김영지* · 김경표 · 변명우
한국원자력연구소 방사선식품공학연구팀, *영남이공대학 식품영양학과

Gamma-Radiation Sensitivity of Pathogenic Bacteria in Beef

Hong-Sun Yook, Sung Kim, Kyong-Haeng Lee,
Yeung-Ji Kim, Kyoung-Pyo Kim and Myung-Woo Byun
Department of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute,
*Department of Food Science and Nutrition, Yeungnam College of Science and Technology

Abstract

The gamma-radiation sensitivity of eight kinds of pathogenic bacteria related to beef was investigated in frozen cells (-18°C) with 0.1 M phosphate buffer and inoculated cells in beef. In frozen cells, D10 values of pathogenic bacteria related to beef were 0.07~0.69 kGy, and inactivation factors were 2.90~42.86 at the radiation doses of 2~3 kGy. Beef was inoculated with *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Enterobacter aerogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, and *Aeromonas hydrophila*. Inoculated beef samples were packaged in air and irradiated at 0.005 to 3.0 kGy. Ninety percent of the viable pathogenic bacteria in beef was eliminated by doses of 0.1~0.61 kGy at room temperature, and the inactivation factors were 3.28~30.0 kGy at the radiation doses of 2~3 kGy. Therefore, irradiation is considered to be an effective method to control pathogenic bacteria in beef.

Key words: pathogenic bacteria, beef, gamma-radiation sensitivity

서 론

Escherichia coli, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Aeromonas hydrophila* 등의 병원미생물은 먼지, 토양, 동물사료, 가금류, 육류 및 우육가공품을 포함한 가공 식품이나 예열처리한 분쇄육, 생선, 가금류, 특히 크림이나 커스터드가 내용물인 제과제빵제품에 오염되어 식중독을 유발할 수 있다⁽¹⁻⁷⁾. 특히 *A. hydrophila*는 냉장저장된 생선, 해산물, 육류와 가금류를 포함한 많은 식품에서 10^5 CFU/g 수준으로 종종 발견되며 설사유발 주요 원인체가 되며^(8,9), *Salmonella*는 장관에서 옮겨지는 인수공통 전염병으로 살아있는 동물의 전염을 감소하기 위한 시도와 도살장 및 가공 중 이를 최소화하기 위한 조치는 식품산업에서 중요한 과제로 되어 있다. 이러한 관점에서 제조관리수칙(GMP)과 위해요소중점관리기준(HACCP)을 적용하고

있는데도 불구하고, 일부 날고기가 병원균에 오염되어 있다는 것은 명백하다^(10,11). 우육은 부패성이 높은 식품이므로 도축과정에서부터 유통단계에 이르기까지 품질보존에 유의하여 저장기간과 식품으로서의 안전성을 높여야 한다. 위생화 방법으로는 보통 도살, 냉장기간 동안 고기에 화학약품을 스프레이하는 방법^(12,13), 포장고기를 방사선 조사하는 방법⁽¹⁴⁾ 등이 이용되어왔다. 현재 병원 미생물의 제어를 위해 신선하게 냉동된 날가금류의 방사선 조사가 1990년 USDA 최종 법규에서 승인되어 있고⁽¹⁵⁾, 또한 방사선 조사는 신선한 육류의 장내 병원균을 사멸하는데 효과적인 기술로서 적절히 사용된다면 쇠고기에 대한 안전성을 확보하기 위해 효과적인 방법이 될 수 있다⁽¹⁶⁾. 저온 방사선 조사는 HACCP 프로그램의 일부분으로서 포장된 고기의 안전성에 대한 확실한 처리를 제공해 주며, 또한, 신선하거나 해동시킨 날고기 및 생선류의 미생물에 의한 부패의 지연은 저온처리 방사선 조사의 큰 장점으로 이용되어지고 있다. 본 연구는 쇠고기의 안전저장 및 유통기반을 확립하기 위하여 질병유발과 관련된 쇠고기의 주요 병원미생물중 그람음성균인

Corresponding author: Myung-Woo Byun, Department of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute, Yuseong P.O. Box 105, Taejeon 305-600, Korea

Escherichia coli, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Enterobacter aerogenes*, *Vibrio parahaemolyticus* 및 *Aeromonas hydrophila*, 그람양성균인 *Staphylococcus aureus*와 *Listeria monocytogenes*에 방사선을 조사하여, 그 살균효과를 살펴보았다.

재료 및 방법

공시균주 및 배지

시험균주로는 그람음성균인 *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048, *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802, *Aeromonas hydrophila* KCTC 2358과 그람양성균인 *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 및 *Listeria monocytogenes* KCTC 1014을 사용하였다. 각종 미생물에 사용된 배지로는 세균의 경우 nutrient broth (NB, Difco Lab.)와 nutrient agar (NA, Difco Lab.), *V. parahaemolyticus*는 3% NaCl이 첨가된 NB와 NA, *S. aureus*와 *L. monocytogenes*는 tryptic soy agar (TSA, Difco Lab.)를 사용하였다. 배양온도는 *E. coli*, *E. aerogene*, *V. parahaemolyticus*, *A. hydrophila*는 30°C에서 *S. typhimurium*, *L. monocytogenes*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*는 37°C에서 배양하였다.

배양시간별 균체 증식

공시균주를 각각 사면배지에 수회 계대배양 후 동일한 액체배지 10 mL에 1백균이를 접종, 37°C에서 24시간 진탕배양(150 rpm)하여 활성화하였다. 활성화된 배양액 1 mL를 새로운 액체배지 100 mL에 접종하여 30~37°C에서 진탕배양하면서 배양시간별로 1 mL를 무균적으로 채취하여 Butterfield's phosphate buffer (0.1 M KH_2PO_4 , pH 7.2 이하 buffer)로 적절히 희석하고 평판배지에 0.1 mL를 도말하여 생성된 colony의 수로 균체 증식을 조사하였다.

균주의 배양과 현탁액의 조제

공시균주를 각각의 사면배지에 24시간 수회 계대배양 후 이것을 동일한 액체배지 100 mL에 1 백균이를 접종하여 30~37°C에서 18시간 진탕배양(150 rpm)한 다음 현탁액 1 mL를 다시 새로운 액체배지 100 mL에 접종하였다. *S. aureus*와 *L. monocytogenes*는 8시간, 그 외의 병원균주는 18시간 진탕배양시켜 대수기의 세포를 얻었다. 이 세포 현탁액을 4°C에서 10분간 원

심분리(9,000×g)하여 얻은 균체를 살균된 냉 0.1 M phosphate buffer (pH 7.2, 이하 buffer)로 3회 세척, 원심분리하여 최종 균의 농도가 10^7 ~ 10^9 CFU/mL가 되도록 조절하였으며 균현탁액은 동결세포와 우유접종 실험에 사용하였다.

우유의 균주접종 및 방사선 조사

시험에 사용된 시료는 도체 후 24시간이 경과된 우유(bovine. *M. Semitendinosus*, 80% 살코기)으로 대전 지역 도축장에서 구입한 후 *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium*, *E. aerogenes*, *V. parahaemolyticus*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*와 *A. hydrophila*를 접종하기 위하여 50 ± 0.05 g씩 분할하였다. 이때 균주를 접종하지 않은 것을 대조구로 하였으며 분할된 시료는 Stomacher 400 (Tekmar Co., Cincinnati, OH) polyethylen bag에 넣어 합기포장한 후 10 kGy 선량의 감마선을 조사하여 살균하였다. 살균된 시료는 clean bench내에서 각 시료 무게당 1% (10^7 ~ 10^9 CFU/mL) 첨가량의 균주를 접종하였다. 감마선 조사는 세포 현탁액의 경우 5.0 mL를 멸균시험관($\phi 1.0 \times 10$ cm)에 넣고 -18°C에서 10시간 동결하여 그 온도를 유지하면서 방사선 조사를 실시하였고, 또한 우유에 균주를 접종한 시료는 실온상태에서 방사선 조사를 실시하였다. 방사선 조사는 선원 10만 Ci, ^{60}Co 감마선 조사시설을 이용하여 분당 25 Gy의 선량율로 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 및 3.0 kGy의 흡수선량을 얻도록 하였으며, *A. hydrophila*는 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2 및 0.3 kGy를 조사하였다. 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter (USA)를 사용하였고 흡수선량 오차는 ± 2 Gy였다.

미생물 생육시험

감마선 조사 후 동결된 균 현탁액은 실온에서 해동하고 buffer로 희석하였으며, 균주접종 후 감마선 조사된 우유는 clean bench내에서 멸균해부칼로 4등분하여 각 절편의 중앙에 1 cm² 공간크기의 멸균된 stainless templet를 놓고 loop로 육의 표면을 긁어 모은 후 다시 면봉으로 닦아내어(scraping & swabbing method) 동일 buffer 용액 10 mL가 들어있는 시험관에 넣어 vortex mixer로 1분간 균질화한 후 동일 buffer로 적절히 희석하였다. 희석된 각 시험액은 각각 평판배지를 이용하여 30~37°C에서 24시간 배양하였다. 균수는 배양 후 30~300개의 colony가 나타난 각 희석배수의 3개 평판상의 CFU를 평균하여 구하였다. Colony count는 Micro Count™ (IPI. Imaging products, International Inc.,

Virginia, U.S.A.)를 사용하였다.

통계분석

공시균주에 대한 미생물 감수성은 CFU/g의 대수로 나타내었다. 각 시험구의 생존균수값은 3개 평판계수에 대한 평균(N) CFU값을 3번의 제로선량 평균값(N₀)으로 나누어 N/N₀로 나타내었다. log₁₀ 생존균수값(log₁₀ N/N₀)은 그 이후 계산을 위해 사용하였으며 D₁₀값(90% 생존균수의 감소를 나타내는 선량: kGy)은 log 생존균수값의 직선회귀의 역의 기울기로 나타내었다.

결과 및 고찰

배양시간별 균체 증식

공시균주의 적정 성장온도에서 배양시간별 증식양상은 Fig. 1, 2와 같다. 30~37°C에서 배양 6~18시간대에서 급격히 증가하였으며 *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium*, *E. aerogenosa*, *V. parahaemolyticus*, *A. hydrophila* 균주는 18시간대의 대수기를 거쳐, 24시간대에 균수가 약 10⁸~10⁹ CFU/mL 정도로 정지기에 도달하였다. 그 외 *S. aureus*과 *L. monocytogenes*는 12시간대에 대수기를, 18시간대에 균수가 약 10⁸~10⁹ CFU/mL인 정지기에 도달하여 최대균수를 나타내었다. 따라서,공시균주의 대수기를 상기의 결과로 하여

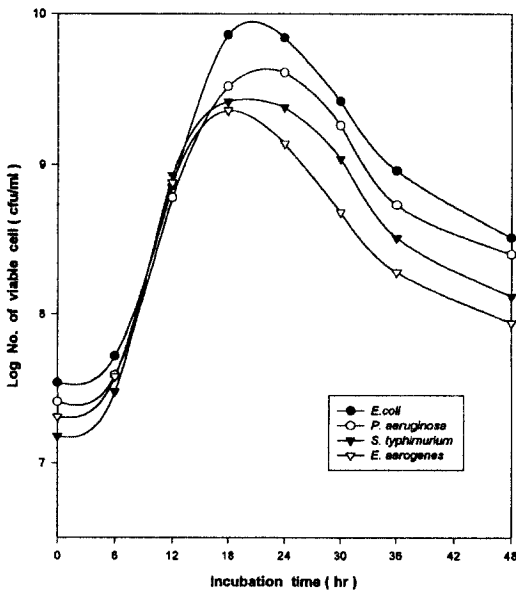


Fig. 1. Cell growth curves of *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium* and *E. aerogenes* according to cultivation time at 30~37°C in nutrient broth medium.

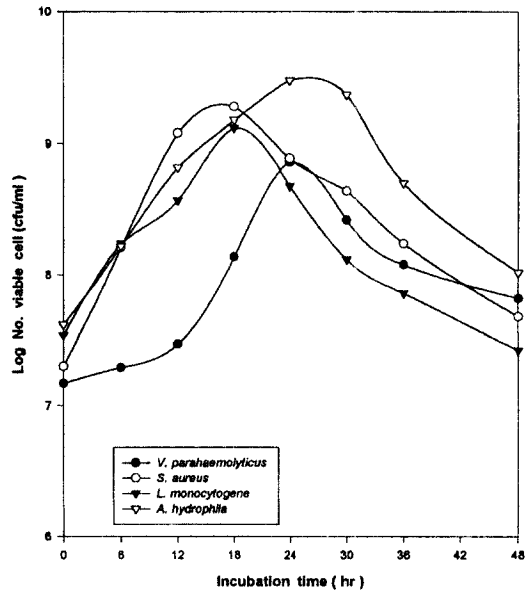


Fig. 2. Cell growth curves of *V. parahaemolyticus*, *S. aureus*, *L. monocytogenes* and *A. hydrophila* according to cultivation time at 30~37°C in nutrient broth medium.

다음실험에 적용하였다.

동결균체의 방사선 감수성

공시균주들에 대한 동결균체에서의 방사선 감수성을 조사한 결과 Fig. 3~5의 생존곡선과 이들 생존곡선으로부터 D₁₀ 및 12D₁₀값과 2와 3 kGy에서의 불활성화계수(n)를 계산하여 Table 1과 같은 결과를 얻었다. 각 균주의 D₁₀값으로 나타난 방사선 감수성은 *P. aeruginosa*가 0.07 kGy로 가장 높았으며 그 다음으로 *A. hydrophila*와 *E. coli*가 0.14 kGy, *E. aerogenes*가 0.17 kGy 순으로 높은 방사선 감수성을 보였다. *V. parahaemolyticus*와 *S. aureus*는 본 실험에 적용된 최고선량인 3.0 kGy에서도 10² CFU/mL의 생존균수를 보였고, 이들의 D₁₀값은 각각 0.69와 0.56 kGy로 낮은 방사선 감수성을 나타내었다. 일반적으로 무포자 영양세포의 경우는 방사선 감수성이 높아 저선량의 방사선 조사로도 살균이 가능한데, 본 실험에서도 이들의 12D₁₀값은 *V. parahaemolyticus*와 *S. aureus*를 제외하고는 5 kGy 선량 범위 내외였다. 또한 2와 3 kGy 선량에서의 불활성화 계수는 *V. parahaemolyticus*와 *S. aureus*가 2.90~5.36 log cycles 정도의 낮은 감소를, 나머지 세균들은 5.00~42.86 log cycles로 높은 감소를 가져올 수 있을 것으로 예상되었다. 본 실험의 결과는 Monk 등⁽¹⁷⁾의 식품매개성 미생물의 방사선 불활성화

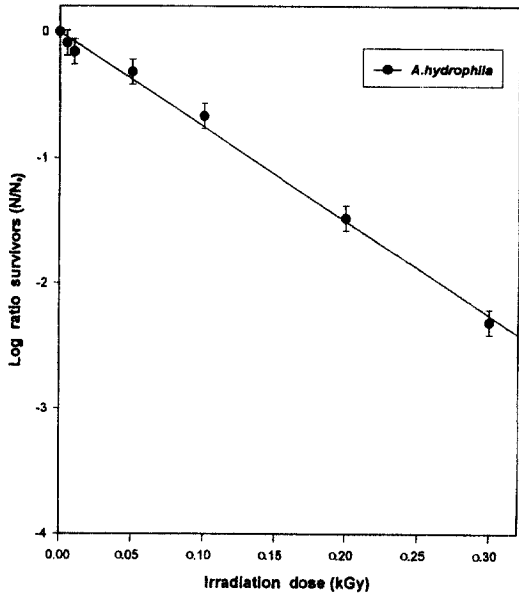


Fig. 3. Radiation survival curves of frozen *A. hydrophila* cell in phosphate buffer.

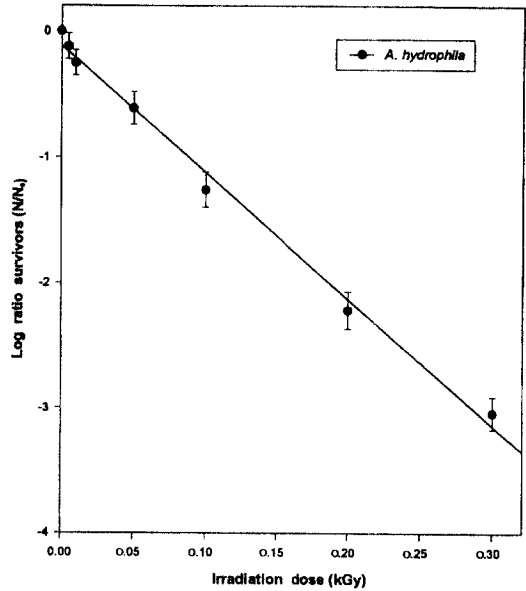


Fig. 5. Radiation survival curves of frozen *V. parahaemolyticus*, *S. aureus* and *L. monocytogenes* cells in phosphate buffer.

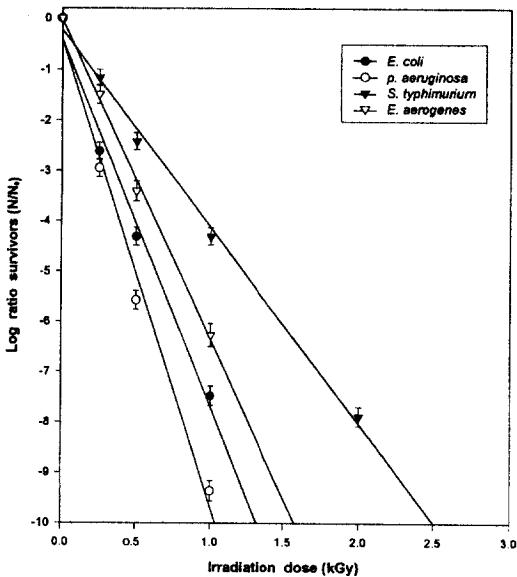


Fig. 4. Radiation survival curves of frozen *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium* and *E. aerogenes* cells in phosphate buffer.

Table 1. Radiosensitivities of pathogenic bacteria at freeze cell ($10^7 \sim 10^9$ cfu/g)

Strain	D_{10} value (kGy)	$12D_{10}$ value (kGy)	Inactivation factor	
			2 kGy	3 kGy
<i>E. coli</i>	0.14	1.68	14.29	21.43
<i>P. aeruginosa</i>	0.07	0.84	28.57	42.86
<i>S. typhimurium</i>	0.26	3.12	7.69	11.54
<i>E. aerogenes</i>	0.17	2.04	11.76	17.65
<i>V. parahaemolyticus</i>	0.69	8.28	2.90	4.35
<i>S. aureus</i>	0.56	6.72	3.57	3.57
<i>L. monocytogenes</i>	0.40	4.80	5.00	4.80
<i>A. hydrophila</i>	0.14	1.63	14.29	0.14

연구의 결과와도 대체적으로 일치하였다.

우육에 접종된 균주의 방사선 감수성

공식균주의 우육접종에 대한 방사선 감수성은 Fig. 6~8의 생존곡선과 이들 생존 곡선으로부터 D_{10} 및

$12D_{10}$ 값과 2와 3 kGy에서의 불활성화 계수(n)를 계산하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 이들의 방사선 감수성은 앞의 동결균체에서 얻어진 결과와 대체로 일치하였는데 먼저 D_{10} 값은 *A. hydrophila*가 0.1 kGy로 방사선 감수성이 가장 높았고 그 다음이 *E. coli*가 0.32 kGy, *L. monocytogenes*는 0.37 kGy, *S. aureus*가 0.44 kGy, *S. typhimurium*이 0.54 kGy 등의 순이었으며, *V. parahaemolyticus*가 0.61 kGy로 가장 낮았고, *P. aeruginosa*와 *E. aerogenes*는 D_{10} 값이 각각 0.34 kGy와 0.35 kGy로 비슷하게 나타났다. 한편 이들 미생물들의 완전살균을 위해서는 3.84 kGy에서 7.32 kGy 범위의 조사선량이 요구되었으며, 불활성화 계수에 있어서는 *A. hydrophila*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *L. mono-*

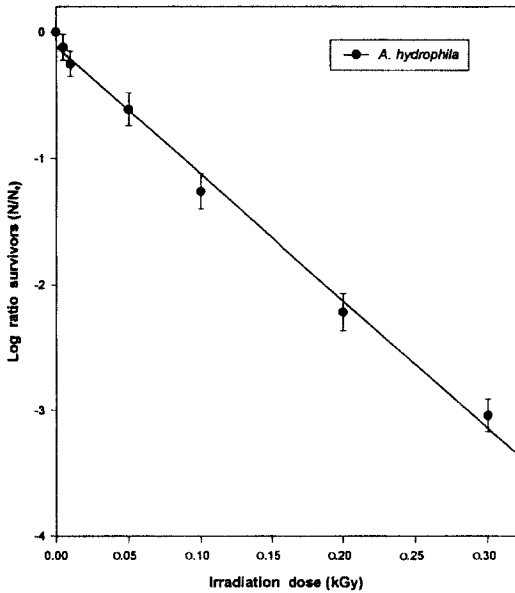


Fig. 6. Radiation survival curves of *A. hydrophila* contaminated in beef.

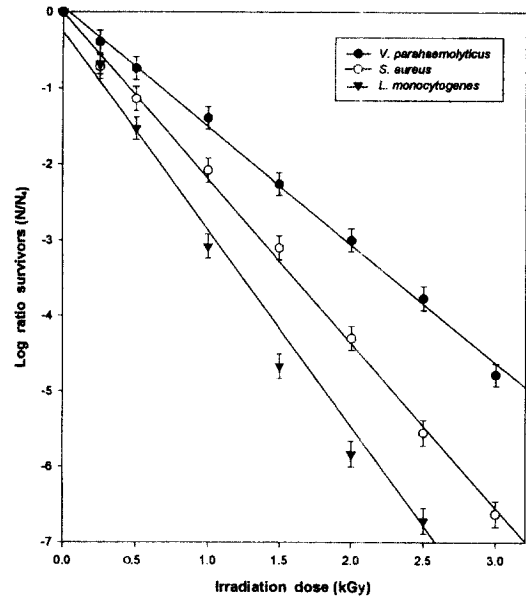


Fig. 8. Radiation survival curves of *V. parahaemolyticus*, *S. aureus*, *L. monocytogenes* contaminated in beef.

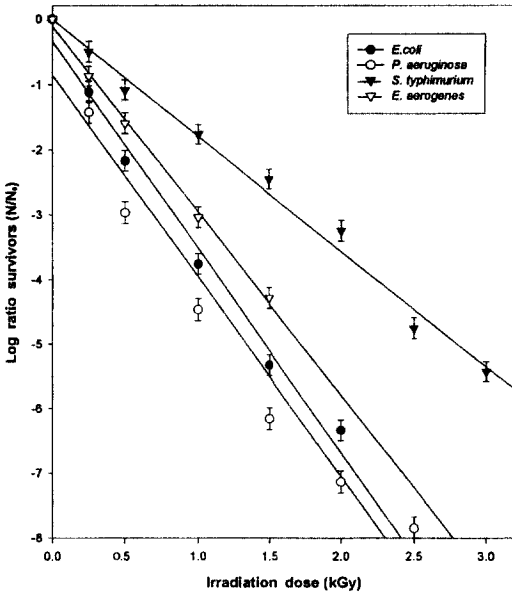


Fig. 7. Radiation survival curves of *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium* and *E. aerogenes* contaminated in beef.

cytogenes 및 *E. aerogenes*는 2와 3 kGy조사로서 8~30 log cycles의 감소가 예상되며, *S. typhimurium*, *V. parahaemolyticus*와 *S. aureus*는 3~6 log cycles로 낮은 감소를 예상할 수 있었다.

본 실험에서 *P. aeruginosa*는 2 kGy에서 불활성화 계수가 5.88로서 이는 Maxcy 등^(18,19)과 Tiwari 등⁽²⁰⁾의

Table 2. Radiosensitivities of pathogenic bacteria contaminated in beef

Strain	D ₁₀ value (kGy)	12D ₁₀ value (kGy)	Inactivation factor	
			2 kGy	3 kGy
<i>E. coli</i>	0.32	3.84	6.25	9.38
<i>P. aeruginosa</i>	0.34	4.08	5.88	8.82
<i>S. typhimurium</i>	0.54	6.48	3.70	5.56
<i>E. aerogenes</i>	0.35	4.20	5.71	8.57
<i>V. parahaemolyticus</i>	0.61	7.32	3.28	4.92
<i>S. aureus</i>	0.44	5.28	4.55	6.82
<i>L. monocytogenes</i>	0.37	4.44	5.41	8.11
<i>A. hydrophila</i>	0.10	1.17	20.0	30.0

신선하게 처리된 같은 우유에 대해 0.34 kGy일 때 1 log, 0.68 kGy 일 때 2 log가 감소된다는 결과와 일치 하였으며, 반면에 3.3~5.6% 저지방의 같은 우유에서 매우 낮은 농도로 접종된 *P. fluorescens*의 순수 배양은 0.85 kGy에서 6 log 이상 감소하였다고 보고하였다. Niemand 등⁽²¹⁾은 2.5 kGy의 감마선 조사로 차게 같은 우유에서 총 호기성 세균수가 거의 3~5 log 감소하였고 균주의 특정 배양배지를 이용하여 *Pseudomonas* spp.와 *Enterobacteriaceae*를 완전히 제거할 수 있다고 하였으며, Tarkowski 등⁽²²⁾은 18~20°C에서 1 kGy까지 감마선 조사된 차게 같은 우유에서 *Enterobacteriaceae* 수가 4 log 감소하였다고 보고하였다. Palumbo 등⁽²³⁾은 같은 우유에 5종의 *Aeromonas* spp.를 접종하고 2°C에서 방사선 조사시 D₁₀값이 0.14~0.19 kGy로서, 본 실험

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 1998년도 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며 이 지원에 감사드립니다.

문헌

1. Abdul-Raouf, U.M., Beuchat, L.R. and Ammar, M.S.: Survival and growth of *Escherichia coli* O157:H7 on salad vegetables. *Appl. and Environ. Microbiol.*, **59**, 1999-2006 (1993)
2. Lone, G.: Inhibitory effect against pathogenic and spoilage bacteria of *Pseudomonas* strains isolated from spoiled and fresh fish. *Appl. and Environ. Microbiol.*, **59**, 2197-2203 (1993)
3. Thayer, D.W. and Boyd, G.: Gamma ray processing to destroy *Staphylococcus aureus* in mechanically deboned chicken meat. *J. Food Sci.*, **57**, 848-851 (1992)
4. Schaffner, D.F. and Hamdy, M.K., Toledo, R.T. and Tift, M.L., *Salmonella* inactivation in liquid whole egg by thermoradiation. *J. Food Sci.*, **54**, 902-905 (1989)
5. An, H.F., Sebranek, J.G. and Murano, E.A.: Survival *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* and quality attributes of cooked pork chops and cured ham after irradiation. *J. Food Sci.*, **60**, 1001-1005 (1995)
6. Stecchini, M.L., Del Torre, M., Sarais, I., Fuochi, P.G., Tubaro, F. and Ursini, F.: Carnosine increases irradiation resistance of *Aeromonas hydrophila* in minced turkey meat. *J. Food Sci.*, **63**, 147-149 (1998)
7. Annapurma, S.K. and Madhusudanan, P.N.: Gamma irradiation as a means to eliminate *Listeria monocytogenes* from frozen chicken. *J. Sci. Food Agric.*, **69**, 415-422 (1995)
8. Palumbo, S.A., Maxino, D.R., Williams, A.W., Buchanan, R.L. and Thayer, D.W.: Starch ampicillin agar for the quantitative detection of *Aeromonas hydrophila*. *Appl. Environ. Microbiol.*, **50**, 1027-1030 (1985)
9. Buchanan, R.L. and Palumbo, S.A.: *Aeromonas hydrophila* and *Aeromonas sobria* as potential food poisoning species: A review. *J. Food Safety*, **7**, 15-29 (1985)
10. Karr, K.J., Maretzki, A.N. and Knabel, S.J.: Meat and poultry companies assess USDA's Hazard Analysis and Critical Point system. *Food Technol.*, **48**, 117-122 (1994)
11. Tompkin, R.B.: Indicator organisms in meat and poultry products. *Food Technol.*, **37**, 107-110 (1983)
12. Brackett, R.E., Hao, Y.Y. and Doyle, M.P.: Ineffectiveness of hot acid sprays to decontaminate *Escherichia coli* O157:H7 on beef. *J. Food Prot.*, **57**, 198-203 (1994)
13. Fu, A.H., Sebranek, J.G. and Murano, E.A.: Microbial and quality characteristics of pork cuts from carcasses treated with sanitizing sprays. *J. Food Sci.*, **59**, 306-310 (1994)
14. Cutter, C.N. and Siragus, G.R.: Efficacy of organic acids against *Escherichia coli* O157:H7 attached to beef carcass tissue using a pilot scale carcass washer. *J. Food Prot.*,

험결과에서 얻어진 실온에서의 우육접종시 D_{10} 값인 0.14 kGy와 일치하였다. Clavero 등⁽²⁴⁾과 Thayer 등⁽²⁵⁾은 차게 같은 우육에서 대표적인 D_{10} 값이 0.6 kGy라 하였고, Maxcy⁽²⁶⁾의 *S. typhimurium*에 대한 D_{10} 값이 3.3~5.6%의 저지방우육에서 0.59 kGy라는 결과와 본 실험에서 동결균체의 D_{10} 값인 0.54 kGy와 유사하였다. Thayer 등⁽²⁷⁾은 *Salmonella* spp.에 대해 0.5~1 kGy의 D_{10} 값은 균주, 조사상태, 기질에 따라 차이가 있음을 보고하였다. 본 실험에서 *Listeria* spp.에 대한 동결균체의 D_{10} 값은 0.37 kGy로서 Thayer 등⁽²⁸⁾의 5°C에서 잘게 썰은 우육에 대한 *Listeria* spp.의 평균 D_{10} 값이 0.47 kGy라는 결과와 유사하게 나타났으나, El-Shenawy 등⁽²⁹⁾은 *Listeria* spp.의 대표적 D_{10} 값은 같은 우육에서 0.51~1.0 kGy로 본 실험에서와 다소의 차이를 보였다. 또한 Grant 등⁽³⁰⁾은 *Listeria* spp.가 로스트 비프와 고깃국물에서는 0.40~0.64 kGy로 *Salmonella*와 유사한 방사선 감수성을 가졌으며 *S. aureus*가 다량 접종된(10⁶/g) 로스트 비프와 고깃국물에서 8°C, 2 kGy의 조사선량으로 그 수가 3~4 log가 감소하였다고 보고하였고, Beuchat 등⁽³¹⁾은 얼린 같은 고지방이나 저지방 우육에서 *S. aureus*의 5가지 균주에 대한 평균 D_{10} 값은 조사온도에 의한 유의적 영향없이 0.45 kGy라 보고하였다. 이러한 결과들은 안전성이나 관능적 품질에 영향을 미치지 않으면서 병원성 미생물의 제어를 강화하기 위해 온전한 형태 혹은 냉장 및 냉동육 모두 최대 4.5 kGy까지의 방사선 조사가 적절하다고 보고된 결과^(32,33)와 대체로 일치하였다.

요 약

병원세균 8종에 대하여 동결균체 및 우육접종에 의한 살균효과를 조사한 결과, 동결세포균체에서는 공시균주들의 D_{10} 값은 0.14~0.69 kGy로 나타났으며 그 중 *Pseudomonas aeruginosa*가 0.07 kGy, *Aeromonas hydrophila*와 *Escherichia coli*는 0.14 kGy로 방사선 감수성이 가장 높았다. 불활성화 계수는 2~3 kGy 조사시 2.90~42.86으로 나타났다. 한편 우육접종시에는 D_{10} 값이 0.1~0.61 kGy로 *A. hydrophila*가 0.1 kGy로 방사선 감수성이 가장 높았으며 *V. parahaemolyticus*가 0.61로서 가장 낮게 나타났다. 또한 이들 미생물의 완전살균을 위해서는 1.17 kGy에서 7.32 kGy 범위의 감마선 조사선량이 요구되며 불활성화 계수는 2~3 kGy 조사로 3~30 log cycles 이상 감소시킬 수 있어 감마선 조사는 육류매개 병원세균을 제어하기 위한 매우 효과적인 방법이다.

- 57, 97-103 (1994)
15. Federal register, Irradiation in the production, processing and handling of food. *Fed. Regist.*, **55**, 18538-18544 (1990)
 16. Donald, W.T. and Glenn, B.: Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in meats by gamma irradiation. *Appl. and Environ. Microbiol.*, **59**, 1030-1034 (1993)
 17. Monk, J.D., Beuchat, L.R. and Doyle, M.P.: Irradiation inactivation of food-borne microorganism. *J. Food Prot.*, **58**, 197-208 (1995)
 18. Maxcy, R.B. and Tiwari, N.P.: Irradiation of meats for public health protection. In, Radiation Preservation of Foods. pp. 491-503. Proceedings of a symposium organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. STI/PUB/317. IAEA, Vienna (1973)
 19. Maxcy, R.B., Tiwari, N.P. and Anagnostis, C.C.: Study of control of public health problems using irradiation. Annual Report to the Division of Isotopes Development, U. S., Jr., Atomic Energy Commission on Contract AT (11-1)-2038 (1971)
 20. Tiwari, N.P. and Maxcy, R.B.: Impact of low doses of gamma radiation and storage on the microflora of ground red meat: A research note. *J. Food Sci.*, **36**, 833-834 (1971)
 21. Niemand, J.G., Van Der Linde, H.J. and Holzappel, W. H.: Shelf-life extension of minced beef through combined treatments involving radurization. *J. Food Prot.*, **46**, 791-796 (1983)
 22. Tarkowski, J.A., Stoffer, S.C.C., Beumer, R.R. and Kampelmacher, E.H.: Low dose gamma irradiation of raw meat. II. Bacteriological effects on samples from butcheries. *Int. J. Food Microbiol.*, **1**, 25-31 (1984)
 23. Palumbo, S.A., Jenkins, R.K., Buchanan, R.L. and Thayer, D.W.: Determination of irradiation D-values for *Aeromonas hydrophila*. *J. Food Prot.*, **49**, 189-191 (1986)
 24. Clavero, M.R.S., Monk, J.D., Beuchat, L.R., Doyle, M. P. and Brackett. R.E.: Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonellae*, and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma radiation. *Appl. Environ. Microbiol.*, **60**, 2069-2075 (1994)
 25. Thayer, D.W., Boyd, G. and Jenkins, R.K.: Low-dose gamma irradiation and refrigerated storage *in vacuo* affect microbial flora of fresh pork. *J. Food Sci.*, **58**, 717-719 (1993)
 26. Maxcy, R.B.: Significance of residual organisms in foods after substerilizing doses of gamma radiation: A review. *J. Food Safety*, **5**, 203-211 (1983)
 27. Thayer, D.W., Boyd, G., Muller, W.S., Lipson, C.A., Hayne, W.C. and Baer, S.H.: Radiation resistance of *Salmonella*. *J. Indust. Microbiol.*, **5**, 383-390 (1990)
 28. Thayer, D.W., Boyd, G., Fox, J.B., Lakritz, L. and Hampson, J.W.: Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. *J. Food Sci.*, **60**, 63-67 (1994)
 29. El-Shenawy, M.A., Yousef, A.E. and Marth, E.H.: Radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* in broth or in raw ground beef. *Lebensm-Wiss. Technol.*, **22**, 387-390 (1989)
 30. Grant, I.R. and Patterson, M.F.: Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled red meat. *Food Microbiol.*, **9**, 95-103 (1992)
 31. Beuchat, L.B., Doyle, M.P. and Brackett, R.E.: Irradiation inactivation of bacterial pathogens in ground beef. University of Georgia Center for Food Safety and Quality Enhancement Report to the American Meat Institute, September (1993)
 32. Thayer, D.W. and Boyd, G.: Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in meats by gamma irradiation. *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**, 1030-1034 (1993)
 33. Thayer, D.W. and Boyd, G.: Radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* on beef as affected by temperature. *J. Food Sci.*, **60**, 237-240 (1995)

(1998년 8월 6일 접수)