

어류양식용 사료의 위생화 I. 어류유래 병원성 세균에 대한 방사선 조사의 효과

김세라 · 이종환 · 조성기* · 변명우* · 김성호

전남대학교 수의과대학
*한국원자력연구소 방사선식품공학팀
(2001년 4월 26일 게재승인)

Hygiene of fish feed I. Effect of gamma radiation on the pathogenic bacteria of fish

Se-ra Kim, Jong-hwan Lee, Sung-kee Jo*, Myung-woo Byun*, Sung-ho Kim

College of Veterinary Medicine, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

*Food Irradiation Team, KAERI

(Accepted by April 26, 2001)

Abstract : The gamma-radiation sensitivity of three kinds of pathogenic bacteria to fish was investigated. D_{10} values (irradiation dose required to inactivate 90% of the population) of *Edwardsiella tarda*, *Vibrio anguillarum* and *Streptococcus faecalis* were 0.08, 0.10 and 0.44 kGy, respectively. The inactivation factors were 4.50 - 24.30 and 6.75 - 36.45 at radiation doses of 2 and 3 kGy. Raw moist pellets were inoculated with *Edwardsiella tarda*, *Vibrio anguillarum* or *Streptococcus faecalis*. Inoculated feed samples were packaged in air and irradiated at 5 kGy. This dose was effective in controlling the inoculated and general bacteria in fish feed. We consider gamma-radiation to be an effective method to sterilize pathogenic bacteria in fish feed.

Key words : gamma-radiation, *Edwardsiella tarda*, *Vibrio anguillarum*, *Streptococcus faecalis*, fish feed

서 론

식품에 대한 방사선 조사는 주로 미생물의 사멸, 해충의 방제 또는 농산물의 발아 및 발근의 억제를 위하여 시행되어 왔다¹. 1896년 방사성 물질이 발견되면서 방사선 조사는 식품중의 미생물을 사멸시킬 수 있다는 가능성이 제시되었고, 1921년 육류의 기생충 오염 문제 해결을 위해 미국에서 특허를 얻은 후 최초로 이용되었다. 1950년대에 방사성 물질의 대량 생산과 이용이 가능해지면서 활발한 연구가 수행되었고, 그 결과 방사선 조사 기술은 1980년대 이후 안전성에 대한 과학적 근거와 세계보건기구, 국제원자력기구, 미국 식품의약품안전청 등의 기관의 주도로 실용화를 위한 기반을 마련하기 시작하였다^{2,3}. 식품 및 의료산업에 활용되고 있는 방사선은 감마선이 80% 이상, 전자선이 20% 미만을 차지하

고 있으며, 엑스선은 진단용을 제외하고는 실제적인 이용에 한계가 있다. 전자선은 감마선에 비해 투과력이 약하여 활용범위가 제한되어 있으나 곡류의 살충이나 표면살균, 의료제품 및 제약 등의 분야에 일부 실용화되고 있다. 특히 전자선의 발생은 전원에 의해서 조절이 가능하여 공정제어 신속성, 정확성, 에너지 효율성, 소비자 수용성 등의 측면에서 장점이 있어 선진국에서는 연구 개발이 활발하게 추진되고 있다^{4,6}.

방사선 조사는 1970년대부터 의료기기 및 실험기기의 멸균 또는 향신료, 과채류, 육류, 일부 실험동물의 사료 등을 포함하는 여러 식품의 보존성 향상과 품질개선을 위해 연구되어 왔다. 최근 국제기구(FAO/WHO/IAEA, ICGFI, FDA 등)와 주요 선진국에서는 방사선 조사기법의 효과와 활용 잠재력을 인정하여 식품위생화를 위한 대체방안으로 방사선 조사 기술의 실용화 확대를 적극

이 논문은 2000년도 원자력기초연구사업 연구비 지원에 의하여 수행되었음

Address reprint requests to Dr. Sung-ho Kim, College of Veterinary Medicine, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

추진하고 있으며, 방사선 조사식품의 안전성을 공인하고 허가함에 따라 그 이용이 크게 증가하는 추세로 1998년 현재 40개국에서 200여종의 식품류에 방사선 조사를 허가하였고, 이 중 29개국이 상업적 규모로 본 기술을 실용화하고 있다. 국내에서는 상업적 방사선 조사 시설 1기가 1987년부터 가동되고 있으며 1996년 현재 13개 식품 품목군에 대한 방사선 조사가 보건복지부로부터 상업적 이용이 허가되었으며 최근 허가의 대상 품목이 확대되고 있다. 그러나 이러한 허가 품목이 일부 건강보조식품원료와 기초 향신료 및 가공원료에 편중되어 있어서 방사선 조사에 대한 산업적 활성화에 커다란 효과를 주지 못하고 있다^{7,8}.

어류 양식에 이용되고 있는 사료는 크게 나누어 3종류로 구분된다. 생선(냉동어: 고등어, 가나리, 전어, 꽁치, 정어리, 새우 등)을 그대로 이용하는 경우(생어사료), 생선(냉동어)을 어분이나 식물유지, 그밖에 건조사료와 중량비로 혼합한 모이스트 펠렛(moist pellet), 그리고 건조사료에 비타민류, 미네랄류를 첨가하여 분말 또는 펠렛 형태로 형성 가공한 배합사료이다. 현재까지 어류양식에서는 생어사료의 대체 사료가 없으며 영양소 요구와 어류의 생리적 특성으로 인하여 생어사료의 사용은 필수적이다. 그러나 생어사료로 사용되는 잡어의 감염성 질병에 대한 대책은 전무하고 수입어류 또한 사료용은 사전검역의 대상에서 제외되어 있어 감염성 질병이 있는 생어사료에 의한 양식어의 감염방지 방법은 없는 실정이다. 우리나라에서 해수면 양식에서는 거의가 생어사료를 사용하고 있다. 연안에 서식하는 해산어 중 병원성 세균에 감염된 어류가 많다. 이들 잡어를 양식어의 생어사료로 이용하기 때문에 병원성 균에 감염된 생어사료가 직접적인 감염원이 되기도 한다. 따라서 생어사료와 같이 양식어의 내부에 들어가, 감염된 균은 번식하여 병증을 직접 유발하거나, 감염어류의 사료화에 의해 사육수가 오염되어 피부를 통한 감염도 유발된다.

어류양식에서 질병발생은 주로 두 가지의 경로에 의한 것이다. 이는 사육수내의 병원성 미생물 오염과 병원성 미생물 오염사료에 의한 감염이다. 사육수의 오염은 소독 및 사육수의 순환으로 대처하고 있다. 그러나 사료의 대부분을 차지하는 생어사료는 동종간의 먹이사슬에 해당되고 따라서 병원성 미생물을 가진 생어사료 공급시 직접적으로 경구감염되어 발병하기도 하고 이차적 사육수 오염에 따라 발병이 된다^{9,10}. 생어사료의 멸균을 위한 방법은 경제적, 노동력의 한계에 따라 대책이 없는 실정이며, 질병예방의 차원에서 무분별한 항생제의 남용에 따른 어체의 오염과 인간에 미치는 공중보건학적 문제, 내성균의 출현 등 많은 문제점을 야기하고 있다. 따라서 효과적인 사료의 위생화가 양식산업의 발전에 필수적이다.

에드워드병, 비브리오병 및 연쇄구균증은 뱀장어, 무지개송어, 메기 등을 비롯한 담수양식어와 넙치, 참돔, 조피볼락, 방어 등의 주요 해산양식어에서 가장 대표적인 질병으로 알려져 있다^{9,10}. 본 연구에서는 동종인 어류를 사료로 사용하는 양어산업의 특성상 심각한 피해를 야기하는 병원성 미생물에 의한 사료성 감염을 방지하기 위하여, 대표적인 어류질병의 원인이 되는 주요 병원성 미생물인 에드워드균(*Edwardsiella tarda*), 비브리오균(*Vibrio anguillarum*), 연쇄구균(*Streptococcus faecalis*)의 방사선 감수성을 파악하고, 주요 생어사료재료 3종(고등어, 전어, 새우) 및 배합사료 1종을 대상으로 일반 세균의 방사선 멸균 효과 및 생어사료에 병원성 세균을 인위적으로 오염시킨 후 방사선 조사에 의한 멸균 효과를 파악하되로서 양어사료의 병원성 미생물에 대한 방사선 위생화의 가능성을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

공시균주 및 배지

시험균주로는 여수 수산대에서 분양받은 그람음성균인 *Edwardsiella tarda*, *Vibrio anguillarum*과 충남대 수의대에서 분양 받은 그람양성균인 *Streptococcus faecalis*를 사용하였다. 미생물의 배양에 사용된 배지는 *E. tarda*와 *V. anguillarum*은 2% NaCl이 첨가된 tryptic soy broth (TSB, Difco Lab.) 또는 tryptic soy agar (TSA, Difco Lab.)를 사용하였으며 *S. faecalis*는 2% NaCl이 첨가된 brain heart infusion broth (BHIB, Difco Lab.) 또는 brain heart infusion agar (BHIA, Difco Lab.)를 사용하였다. 모든 세균은 23°C에서 배양하였다. 모든 시험의 균수는 배양 후 50-300개의 집락이 나타난 각 희석배수의 3개의 평판 한천배지상의 집락수를 평균하여 구하였다.

균주의 배양과 현탁액의 조제

공시균주를 각각의 사면배지에 24시간 수회 계대배양 후 동일한 액체배지 10 ml에 1백금이를 접종하여 23°C에서 18시간 진탕배양한 다음 현탁액 0.1 ml를 다시 새로운 액체배지 10 ml에 접종하였다. 18시간 진탕배양시켜 대수기의 세포를 얻었다. 이 세균 현탁액을 4°C에서 세척하고 최종 균의 농도가 10^7 - 10^9 CFU/ml가 되도록 조절하였으며 균현탁액은 현탁세균에 대한 방사선 조사 실험과 생어사료 접종실험에 사용하였다.

방사선 조사에 의한 어류유래 병원성 세균의 멸균 효과

3가지 어류유래 병원성 세균을 액상배지에 넣어 23°C에서 배양한 후 각각의 액체배지 ml 당 1×10^7 - 1×10^9

개의 세균수로 하여 시험관에 담고, 4°C에서 감마선을 조사하였다. 감마선 조사는 한국원자력연구소에 소재하는 감마선 조사시설(선원: ⁶⁰Co, 10만 Ci)을 이용하여 분당 25 Gy의 선량율로 시료에 0.25, 0.5, 1, 2 및 4 kGy의 최종흡수선량을 받도록 하였다. 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter(USA)를 사용하였고 흡수선량의 오차는 ±2 Gy 였다. 감마선 조사가 끝난 시료는 바로 단계적 적정 배율로 생리식염수에 희석하여 평판한천배지에 도말 후 23°C에서 24시간 배양하고 형성된 세균의 집락수를 측정하였다.

방사선 조사에 의한 양어용 생어사료와 배합사료에 존재하는 일반세균의 멸균 효과

양어용 생어사료로서 양식장에서 사용하는 신선한 상태의 냉동 고등어, 전어, 새우를 사용하였고 시판 중인 배합사료 중 한 종류(아쿠아퍼펙트 2호, 우성사료주식회사)를 사용하였다. 시료를 마쇄한 다음 5 kGy의 감마선(선량율 : 분당 80 Gy)을 조사하였다. 방사선을 조사하거나, 조사하지 않은 시료에 무게 g 당 10 ml의 멸균된 생리식염수를 혼합하여 vortex mixer로 2분간 균질 부유시키고 10분간 방치한 후 침전물을 제거하였다. 침전물을 제거하고 채취한 상층액을 단계적 적정 배율로 희석한 다음 평판한천배지(TSA)에 도말하고 23°C에서 24시간 배양한 다음 형성된 세균집락의 수를 측정하였다.

병원성 세균을 접종한 생어사료에서 방사선 조사에 의한 오염세균의 멸균 효과

양어용 생어사료의 일종으로 고등어를 사용하였다. 10 kGy (선량율 : 부당 80 Gy)의 감마선을 조사하여 시료 내 미생물을 완전히 제거하고 인위적으로 세균을 오염시키

기 위하여 연쇄구균, 비브리오균 및 에드워드균을 사용하였다. 마쇄된 시료 무게의 1%에 해당되는 생리식염수에 ml 당 1×10⁷-1×10⁹ 정도의 세균을 혼합하고 5 kGy(선량율 : 분당 80 Gy)의 감마선을 조사하였다. 5시간 후 방사선을 조사하거나, 조사하지 않은 시료에 무게 g 당 10 ml의 멸균된 생리식염수를 혼합하여 시료를 부유시키고 10분간 방치한 후 상층액을 채취하였다. 채취된 상층액을 단계적 적정 배율로 희석한 다음 각각의 평판한천배지에 도말하고 23°C에서 24시간 배양한 다음 형성된 세균집락의 수를 측정하였다.

통계분석

공시균주에 대한 방사선 감수성은 CFU/ml의 대수로 나타냈다. 각 시험구의 생존균수의 값은 3개의 평판 계수에 대한 평균(N) CFU 값을 3번의 제로선량 평균값(N₀)으로 나누어 N/N₀로 나타내었다. log₁₀ 생존균수값(log₁₀ N/N₀)은 그 이후 계산을 위해 사용하였으며 D₁₀ 값(90% 생존균수의 감소를 나타내는 선량 : kGy)은 log 생존균수값의 직선회귀의 역의 기울기로 나타내었다.

결 과

방사선 조사에 의한 어류 유래 병원성 세균의 멸균 효과 시험

각 병원성 세균의 생존균수는 방사선의 조사에 따라 급격히 감소하였다(Table 1). 각 균주의 90% 사멸에 필요한 방사선 조사 용량은 *Edwardsiella tarda*에서 0.08 kGy로 가장 낮았으며, *Vibrio anguillarum*에서 0.1, *Streptococcus faecalis*에서는 0.44 kGy 였다(Table 2). 2 kGy와 3 kGy 선량에서의 불화성화 계수는 각각 4.50-

Table 1. The sterilization effect of radiation on pathogenic bacteria related to fish in aqueous suspension (10⁷ - 10⁹ CFU/ml, 4°C)

Bacterium	Radiation dose (kGy)				
	0	0.25	0.5	1.0	2.0
<i>Edwardsiella tarda</i>					
No. of cell	(8.7±0.7)×10 ⁸	(8.0±0.6)×10 ⁵	(7.3±0.2)×10 ²	0	0
Log value	0	-3.04	-6.08	-	-
<i>Vibrio anguillarum</i>					
No. of cell	(2.7±0.3)×10 ⁸	(1.5±0.2)×10 ⁶	(1.0±0.1)×10 ³	0	0
Log value	0	-2.26	-5.43	-	-
<i>Streptococcus faecalis</i>					
No. of cell	(4.5±0.2)×10 ⁸	(3.4±0.2)×10 ⁸	(8.4±0.45)×10 ⁷	(8.4±0.33)×10 ⁶	(5.5±0.34)×10 ³
Log value	0	-0.12	-0.73	-1.73	-4.40

Table 2. Radiosensitivities of pathogenic bacteria related to fish in aqueous suspension

Bacterium	D ₁₀ value (kGy)	12D ₁₀ value (kGy)	Inactivation factor	
			2 kGy	3 kGy
<i>Edwardsiella tarda</i>	0.08	0.96	24.30	36.45
<i>Vibrio anguillarum</i>	0.10	1.20	20.99	31.49
<i>Streptococcus faecalis</i>	0.44	5.28	4.50	6.75

Table 3. The effect of radiation (5 kGy) on general bacteria in fish feed

Feed	Treatment	No. of bacterium / g
Mackerel	Untreated	$(4.3 \pm 0.3) \times 10^6$
	Irradiation	0
Gizzard shad	Untreated	$(5.0 \pm 0.2) \times 10^6$
	Irradiation	0
Shrimp	Untreated	$(8.9 \pm 0.8) \times 10^7$
	Irradiation	0
Formula feed	Untreated	$(9.1 \pm 1.1) \times 10^4$
	Irradiation	0

24.30 및 6.75-36.45 였다. 이와 같은 방사선 조사에 대한 감수성을 근거로 완전멸균에 필요한 방사선 조사 용량은 0.96-5.28 kGy 정도임을 알 수 있었다.

방사선 조사에 의한 양어용 생어사료와 배합사료에 존재하는 일반세균의 멸균 효과

Table 3에서 보는 바와 같이 시료 무게 g 당 일반세균의 수는 배합사료의 경우 9×10^4 , 생어사료의 경우 종류에 따라 4×10^6 - 9×10^7 개 정도였으며 5 kGy의 감마선을 조사한 경우 모든 시료에서 세균이 검출되지 않아 세균이 완전 멸균됨을 알 수 있었다.

병원성 세균을 접종한 양어용 생어사료에서 방사선 조사에 의한 오염세균의 멸균 효과

방사선을 조사하지 않은 시료에서는 접종한 세균의

종류에 따라 7×10^6 - 9×10^7 개의 세균이 있었으나 5 kGy의 방사선을 조사한 시료에서는 세균은 전혀 배양되지 않아 5 kGy의 감마선을 조사하면 생어사료 내의 병원성 세균도 완전히 멸균됨을 알 수 있었다(Table 4).

고 찰

방사선 살균법은 감마선의 특징인 강력한 투과력에 의해 제품의 포장상태와 무관하게 처리가 가능하여 살균처리 후 이차오염의 가능성이 없다. 또한 제품의 품을 상승시키지 않는 냉온 살균법으로 가열처리가 불가능한 제품의 살균과, 화학훈증제 처리와는 달리 유해성분의 잔류 및 독성이 없으며, 오염유기체(미생물, 해충 등)의 살균, 살충이 확실하여 살균공정관리가 편리하고 정확하다는 등의 많은 장점이 있다. 방사선의 미생물에 대한 영향을 살균정도와 조사선량에 따라 구분하면 방사선 완전살균(radappertization), 미생물 살균(radicidation) 및 방사선 부분살균(radurization)으로 구분되며, 방사선 완전살균은 *Bacillus* 속 및 *Clostridium* 속 등 아포세균 특히 내열성의 *Clostridium botulinum* 아포의 사멸과 기타 모든 미생물이 검출되지 않을 정도로 완전 살균하는 처리로서 3.0-50 kGy의 고선량 조사가 필요하다. 밀봉 포장된 햄, 소세지, 베이컨 등 통조림 식품과 병원환자용 무균식품, 우주인 식품, 실험동물용 무균사료(SPF 또는 Germfree 사료 등), 의약품, 의료용품 및 식품의 포장재료 등의 살균에 매우 효과적으로 이용된다. 방사선 병원성 미생물 살균은 식품에 오염된 식중독균, 경구전염병균 등의 병원성 미생물을 1.0-10 kGy 조사선량 범위로서 사멸시키는 방법으로 냉동어패류, 닭고기, 냉동란 등의 식품이 대상이며, 또한 미생물의 오염도가 높은 향신료, 건조야채류, 분말식품, 배합사료 등의 위생화를 목적으로 5.0-10 kGy 선량이 조사되는 이 분야는 세계적으로 실용화가 가장 활발한 예이다. 방사선 부분살균은 방사선에 의해 대상식품의 일반오염미생물의 생균수를 감소시켜 보존기간 또는 냉장기간을 연장시키는 처리로서 0.5-10 kGy 정도의 방사선 조사선량이 요구된다⁵. 오늘날 양식 산업은 가장 급속히 성장하는 수산업의

Table 4. The effect of radiation on contaminated fish feed (moist pellet using mackerel) with pathogenic bacteria

Treatment	No. of bacterium / g		
	<i>Edwardsiella tarda</i>	<i>Vibrio anguillarum</i>	<i>Streptococcus faecalis</i>
Irradiation (10 kGy) + bacteria inoculation	$(8.5 \pm 0.3) \times 10^7$	$(7.2 \pm 0.4) \times 10^6$	$(7.7 \pm 0.3) \times 10^7$
Irradiation (10 kGy) + bacteria inoculation + irradiation (5 kGy)	0	0	0

한 분야로서, 급증하는 수산물의 수요에 따른 부족한 공급량을 채워줄 수 있기 때문에 전세계적으로 경제적 중요성이 인정되어 지속적으로 성장하고 있다. 생활수준의 질이 향상됨에 따라 저지방 고단백식품에 대한 기호성 증가로 어류의 소비량은 점차적으로 늘고 있는 추세인데 반해 자연어류의 포획량은 한정되어 있고 특히 한일, 한중 어업협정의 결과 조업에 의한 어획량이 축소되었으며 이에 대한 대처방안으로 어류의 양식산업이 활발하게 육성되고 있다. 특히 1998년 내수면 어류의 양식을 제한하는 정부의 방침에 따라 해산어의 양식이 늘어날 전망이다. 우리나라 양식해산어 생산량은 1997년 현재 4만톤으로 매년 급속한 증가추세를 보이고 있다.

양어는 가두리양식이나 축제식, 육상수조를 막론하고 땅, 제방 또는 지역적으로 격리되어 있는 것처럼 생각되지만, 동일수계인 물에 의해 서로 연결되어 양식장 전수역을 공동으로 이용하기 때문에 폐쇄환경이 아닌 개방적 환경이다. 즉 양식은 동일 환경을 동일 개체가 이용하는 개방적 환경이다. 따라서 어병의 발생은 급속도로 전파되고 어장 전역의 오염을 초래한다^{11,12}.

어류의 주요질병으로서 에드워드병은 그람음성의 단간균인 *Edwardsiella tarda*에 의해 주로 발생되며 체표의 출혈성 궤양, 폐혈증, 복수, 신장 및 비장의 세균집락을 형성하고, 주요장기에 농창을 유발하는 질병으로 어류 뿐만 아니라 사람에게도 뇌막염과 간의 농양, 창상의 감염, 위장염 등의 질병의 중요한 원인이 되기도 한다. 일반적으로 담수에서만 서식하는 잉어, 붕어, 가물치 등에서는 병원성이 강하지 않으나 해산어류에는 치명적인 피해를 입힌다^{9,10,13,14}. 비브리오병은 그람음성의 간균인 *Vibrio anguillarum*에 의해 주로 발생되며 피부궤양, 전신출혈, 안구돌출, 괴사성 장염을 유발하는 고수온기는 물론, 저수온기에서도 발병하는 해산어 질병 중 가장 중요한 질병의 하나이며 모든 해산어는 최소 한 종이상의 비브리오세균에 감수성을 가지는 것으로 알려져 있다^{9,10,15,16}. 연쇄구균증은 그람양성의 연쇄구균속 세균에 의해 발생되며 양측성 안구돌출, 출혈성 폐혈증, 주요장기의 충출혈, 장염 등을 일으킨다^{9,10,17,18}. 이들 질병들의 발생에서 먹이생물에 의한 감염이 주요 원인으로 작용하고 있다. 연안에 서식하는 해산어 중 이들 세균에 감염된 어류가 많다. 감염된 잡어를 양식어류의 생사료로 이용하기 때문에 균에 감염된 생사료가 직접적인 감염원이 되기도 하며 오염사료에 의한 이차적인 사육수의 오염을 초래하여 경피감염의 원인이 되기도 한다. 치료에서도 사료 내에 병원균이 있어 염증을 일으키고 있는 장관 내에 항시 정착하여 증식을 반복하기 때문에 치료효과가 떨어진다¹². 이들 질병이 양식산업에서의 피해는 물론, 인체에서도 질병을 유발할 수 있기 때문에 공

중보건학적 문제의 해결을 위해서도 이러한 어류의 질병발생을 억제하여야 한다^{19,20}.

동물사료에 대한 방사선의 조사는 주로 소형 무균실험동물의 사육을 위하여 실시되었고 일부 닭 및 돼지의 사료를 대상으로 시험되고 있는 실정이며 양어사료에 대한 실제적용의 경우는 전무하다²¹⁻²⁵.

본 실험의 결과 그람음성세균인 *Edwardsiella tarda*와 *Vibrio anguillarum*은 90% 사멸에 필요한 방사선 조사용량이 각각 0.08 kGy 및 0.10 kGy로서 방사선에 민감하였으며 식품에서 분리되는 그람음성 세균 중 *Escherichia coli* (0.24-0.36 kGy)²⁶⁻²⁸, *Salmonella* 속 균 (0.37-0.69 kGy)^{27,29-32}에 비하여 감수성이 높았으며, 대부분의 *Vibrio* 속 균(0.11-0.75 kGy)^{33,34}에 비해서도 민감하였으나 식용새우의 표면에서 분리된 *Vibrio cholerae* (0.11 kGy)³³와는 유사한 감수성을 나타냈다. 그람음성 세균인 *Streptococcus faecalis*는 0.44 kGy였으며 이는 그람양성 세균인 *Clostridium perfringens* (0.35-0.82 kGy)^{29,30}의 방사선 사멸범위에 해당되었으며 마쇄한 닭고기에서 분리된 *Streptococcus faecalis* (0.65-0.70 kGy)³²에 비해서는 약간 낮은 수치를 보였다. 이들 어병 관련 세균의 90% 사멸에 필요한 방사선 조사용량을 근거로 완전사멸 용량을 산출하였던 바 완전멸균에 필요한 방사선 조사용량은 0.96-5.28 kGy였고, 따라서 대표적 어류유래의 병원성 세균 3종은 5 kGy 정도의 양으로 방사선을 조사하면 완전멸균됨을 알 수 있었으며 이들 세균을 인위적으로 오염시킨 생어사료에서도 5 kGy 방사선 조사에서 오염 세균이 완전 사멸됨을 재확인하였고 이와 동시에 생어사료 및 배합사료에 존재하는 일반세균도 5 kGy의 방사선 조사용량에서 제거되었다. 따라서 양어용 배합사료의 경우는 현재의 시판 포장상태로 방사선 조사가 가능할 것이며 양식장에서 주로 사용되는 습사료의 경우, 냉동 생어사료에 대한 간단한 밀봉포장 후 방사선 조사가 가능할 것이며 양식장에서 급여직전 배합사료와 혼합하여 습사료를 제조하고, 급여할 경우 효과적으로 사료내 병원미생물에 의한 발병을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

대표적인 어류질병의 원인이 되는 주요 병원성 미생물인 에드워드균(*Edwardsiella tarda*), 비브리오균(*Vibrio anguillarum*), 연쇄구균(*Streptococcus faecalis*)의 방사선 감수성을 파악하고, 주요 생어사료재료 3종(고등어, 전어, 새우) 및 배합사료 1종을 대상으로 일반세균의 방사선 멸균 효과 및 생어사료에 병원성 세균을 인위적으로 오염시킨 후 방사선 조사에 의한 멸균 효과를 파악하였

다. 90% 사멸에 필요한 방사선 조사 용량은 *Edwardsiella tarda*에서 0.08 kGy로 가장 낮았으며, *Vibrio anguillarum*에서 0.10, *Streptococcus faecalis*에서는 0.44 kGy였다. 2 kGy와 3 kGy 선량에서의 불화성화 계수는 각각 4.50-24.30 및 6.75-36.45였으며 이와 같은 방사선 조사에 대한 감수성을 근거로 완전멸균에 필요한 방사선 조사용량은 0.96-5.28 kGy 정도임을 알 수 있었다. 이들 세균을 인위적으로 오염시킨 생어사료에서도 5 kGy 방사선 조사에서 오염 세균이 완전 사멸됨을 재확인하였고 이와 동시에 생어사료 및 배합사료에 존재하는 일반세균도 5 kGy의 방사선 조사용량에서 제거되었다.

참고문헌

- WHO. Safety and nutritional adequacy of irradiated food. Geneva, 1994.
- WHO. Wholesomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee on the wholesomeness of irradiated food. Technical Report Series 651, 1981.
- 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.
- Dafferstein FK. Food irradiation; The position of the World Health Organization. 36th General Conference of the International Atomic Energy Agency, Scientific session, Vienna:23. 1992.
- WHO. High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of a joint FAO/IAEA/WHO study group. Technical Report Series 890, 1999.
- Brynjoifossn A. Food-energy-developing countries-food irradiation. IAEA-SM-250/26, 421, 1981.
- Ahmed M. Food irradiation, Up-to-date status. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, IAEA 6626F, Vienna, 27, 1991.
- Yook HS. Effect of gamma irradiation on the microbiological, biochemical, morphological, nutritional, toxicological and food processing characteristics of beef. Ph.D. Dissertation, Chungnam National University, 1999.
- Noga EJ. Fish disease diagnosis and treatment. St. Louis, Mosby; 1996.
- Inglis V, Roberts RJ, Bromage NR. Bacterial diseases of fish. Blackwell Scientific Publications, Oxford; 1993.
- 전세규. 담수산 양식어류의 질병. 한국수산신보사. 1996.
- 전세규. 양식어류의 질병-해산어편. 한국수산신보사. 2000.
- Lehane L, Rawlin GT. Topically acquired bacterial zoonoses from fish: a review. *Med J Aust*, 173:256-259, 2000.
- Waltman WD, Shotts EB. Antimicrobial susceptibility of *Edwardsiella tarda* from the United States and Taiwan. *Vet Microbiol*, 12:277-282, 1986.
- Jia X, Parezykat A, Devlin RH, et al. Antimicrobial peptides protect coho salmon from *Vibrio anguillarum* infections. *Appl Environ Microbiol*, 66:1928-1932, 2000.
- Denkin SM, Nelson DR. Induction of protease activity in *Vibrio anguillarum* by gastrointestinal mucus. *Appl Environ Microbiol*, 65:3555-3560, 1999.
- Buras N, Duek L, Niv S. Reactions of fish to microorganism in wastewater. *Appl Environ Microbiol*, 50:989-995, 1985.
- Boomker J, Imes GD, Cameron CM, et al. Trout mortalities as a result of *Streptococcus* infection. *Onderstepoort J Vet Res*, 46:71-77, 1979.
- Greenlees KJ, Machado J, Bell T, et al. Food borne microbial pathogens of cultured aquatic species. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*, 14:101-112, 1998.
- Janda JM, Abbott SL. Infections associated with the genus *Edwardsiella*: the role of *Edwardsiella tarda* in human disease. *Clin Infect Dis*, 17:742-748, 1993.
- Halls NA, Tallentire A. Effects of processing and gamma irradiation on the microbiological contaminants of a laboratory animal. *Lab Anim*, 12:5-10, 1978.
- Leuchtenberger A, Ruttloff H. Germ reduction in technical enzyme preparations with special regard to gamma irradiation. *Nahrung*, 20:525-530, 1976.
- Yoshida T, Shinoda S, Urano T, et al. Role of gastrointestinal microflora in nitrogen and mineral balances in young mice fed on autoclaved and irradiated diets. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 27:341-352, 1981.
- Burdick D, Cox NA, Thomson JE, et al. Heating by microwave, hot air, and flowing steam to eliminate inoculated *Salmonella* from poultry feed. *Poult Sci*, 62:1780-1785, 1983.
- Miniats OP, Jol D. Gnotobiotic pigs-derivation and rearing. *Can J Comp Med*, 42:428-37, 1978.
- Clavero MR, Monk JD, Beuchat LR, et al. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonellae*, and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma irradiation. *Appl Environ Microbiol*, 60:2069-75, 1994.
- Maxcy RB, Tiwari NP. Irradiation of meats for public health protection. In: Radiation preservation of food. Vienna, IAEA, 491-504, 1973.
- Thayer DW, Boyd G. Gamma ray processing to destroy *Staphylococcus aureus* in mechanically deboned chicken meat. *J Food Sci*. 57:848-851, 1992.
- Grant IR, Patterson MF. Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled ready meal. *Food Microbiol*, 9:95-103, 1992.
- Grant IR, Patterson MF. Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the microbiological safety of minced pork under temperature abuse conditions. *Int J Food Sci Tech*, 26:521-533, 1991.

31. Thayer DW, Boyd G. Effect of ionizing radiation dose, temperature, and atmosphere on the survival of *Salmonella typhimurium* in sterile, mechanically deboned chicken meat. *Poult Sci*, 70:381-8, 1991.
32. Patterson M. Sensitivity of bacteria to irradiation on poultry meat under various atmospheres. *Lett Appl Microbiol*, 7:55-58, 1988.
33. Rashid HO, Ito H, Ishigaki I. Distribution of pathogenic *Vibrios* and other bacteria in imported frozen shrimps and their decontamination by gamma-irradiation. *World J Microbiol Biotechnol*, 8:494-499, 1992.
34. Hau LB, Liew MH, Yeh LT. Preservation of grass prawns by ionizing radiation. *J Food Protect*, 55:198-202, 1992.