

배합사료 원료에 대한 방사선 살균 효과 ; 탄수화물의 살균

조한옥·변명우·권중호·이재원·김영배*

한국에너지연구소, 식품조사연구실

*고려대학교 식품공학과

Effects of Gamma Irradiation on the Decontamination of Animal Feeds: Sterilization of Carbohydrate Sources

H.O. Cho, M.W. Byun, J.H. Kwon, J.W. Lee and Y.B. Kim*

Food Irradiation Division, Korea Advanced Energy Research Institute, Seoul 131, Korea

* Department of Food Technology, Korea University, Seoul 132, Korea

ABSTRACT-The effects of gamma irradiation on microbiological and physicochemical qualities in raw ingredients (thirteen kinds of cereal grain and their by-product) of mixed feeds were investigated. The total aerobic bacteria counts in the samples were 10^2 to 10^6 /g. They were sterilized to a undetectable level by 5 to 7 kGy irradiation. Coliforms were contaminated in high levels in all sample, ranging from 10^2 to 10^6 /g. They were radiation-sensitive and completely eliminated by irradiation with 3 to 5 kGy. Total fungi, ranging from 10^2 to 10^4 /g, mainly osmophiles were identified as *Aspergillus* and *Penicillium*. They were eliminated below identification limit by 5 to 7 kGy irradiation. Seven kinds of species, including *Aspergillus flavus*, were identified as a potential mycotoxin producers. Physicochemical qualities, such as total amino acid content, total sugar content, TBA value and color difference showed that an optimum dose of irradiation was less detrimental than ethylene oxide fumigation.

Keywords □ Gamma irradiation, Microbiological and physicochemical quality, Total aerobic bacteria, Coliforms, Total fungi, Amino acids, Sugar, TBA value, Color difference

국내의 배합사료 원료로서 곡류와 그 부산물인 강피류는 주요한 전분질원으로 그 사용이 매년 증가 추세에 있으며, 1986년 곡류는 총 460만톤, 강피류가 130만톤 이상 사용되었다. 곡류 중 옥수수가 286만톤으로 가장 사용량이 많았고, 강피류는 소맥피가 60만톤으로 가장 높았으며 옥수수의 경우 약 98%가 수입에 의존하는 실정이다¹⁾.

이들의 대부분은 높은 미생물 오염으로 해상,

육상 수송 도중이나 저장중에 고온, 다습으로 해충이나 미생물 특히 곰팡이에 의한 손실이 매우 크며, 곡류에서의 곰팡이의 생육은 영양 성분의 손상 뿐만 아니라 어떤 종류들은 mycotoxin을 생성할 수 있어서 가축 위생상 많은 문제점으로 대두되고 있다²⁾.

현행 곡류의 살균 방법으로는 ethylene dibromide, methyl bromide 등에 의한 훈증 처리와 sodium propionate 등의 방부제가 사용되고 있으나 이러한 훈증제나 화학약품의 독성은 환경 공해 등 문제점이 되고있다³⁾.

Received for publication 21 September, 1987

Reprint request; Dr. H.O. Cho at the above address

따라서 사료나 사료 원료의 안전한 살균 방법의 개발이 요구되며, 이러한 견지에서 방사선 조사는 수송, 저장, 분배 기간중 해충 및 곰팡이류나 다른 미생물 생장에 의한 손실방지와 병원성세균의 살균으로 food chain으로의 이차오염을 방지할 수 있어 식품위생적 측면에서도 고려할 가치가 있다^{4,5)}.

본 연구는 일차적으로 배합사료의 주 원료인 전분질원을 대상으로 이들의 미생물 오염 정도와 방사선 살균 효과 및 방사선 조사에 따른 이화학적 특성을 시험하였다.

재료 및 방법

시료—본 실험에 사용된 단말사료는 옥수수(3종, 미국, 태국, 중공산 각 1종), 수수(중공산), 소맥(호주산), 타피오카(태국산), 소맥피(2종, 국산 및 인도네시아산 각 1종), 글루텐 화이트, 등외소맥분, 파과자, 밀배아, 옥배아 등 13종을 C 사료상사로 부터 1986년 2월에 구입하여 시료로 사용하였다.

미생물 검사—호기성 전세균은 APHA 표준방법⁶⁾, 대장균군 및 장내 병원성세균은 Difco-Desoxycholate agar와 BBL-Salmonellae-Shigella agar를 사용한 plate method⁷⁾로 수행하였으며, 총 곰팡이는 MYG-chloramphenicol agar를, 내삼투압성 곰팡이는 15% NaCl-malt agar를 사용하여 30°C에서 2-7일간 배양한 후 계수하였다⁸⁾.

곰팡이의 분리과 동정—MYG-Chloramphenicol agar를 이용한 평판배지에서 순수 분리된 곰팡이는 Czopek solution agar와 MY-20 agar에 30°C에서 7-30일간 배양하면서 “The Genus Aspergillus”⁹⁾, “Manual of the Penicilli”¹⁰⁾와 “The Fungi”¹¹⁾의 방법에 따라 동정하였다.

일반성분—시료의 수분, 조지방, 조단백, 조회분, 조섬유 및 전당 함량의 정량은 AOAC 방법¹²⁾에 준하였다.

TBA가 측정—지방질 성분의 산패도를 측정하기 위해 Turner 방법¹³⁾에 따라 시료 kg당 malonaldehyde량 (mg)으로 나타내었다.

아미노산 정량—6N-HCl로 산 가수분해 시킨 후 아미노산 자동분석기 (Hitach model 835)로 총 아미노산을 정량하였다.

색도 측정—시료를 분말화하여 color and color difference meter (Model ND-1001 DP)에 의해 명도(L값), 적색도(a값), 황색도(b값) 및 색차(mE값)를 각각 측정하였다.

살균처리—살균처리는 미생물 오염도가 높고 전분질원으로 대표적인 옥수수와 소맥피 각 1종과 타피오카를 선택하였으며, 방사선 조사는 각 시료를 polyethylene 주머니에 200-250g씩 포장한 후, 선원 1만큐리의 Co-60 감마선 조사 시설을 이용, 시간당 400 Gy의 선량율로 3, 5, 7, 10 kGy을 조사하였다. 곡류의 현행 대표적 살균방법인 ethylene oxide에 의한 훈증처리는 전문업체(T gas 화학)에 의뢰하여 전보¹⁴⁾와 동일한 조건으로 살균처리하였다.

결과 및 고찰

시료의 미생물 오염—수입 및 국내 생산된 전분질원 단말 사료 13종의 미생물 오염도는 Table 1과 같다. 호기성 전세균은 모든 시료에서 10^2 - 10^6 /g 범위로 오염되어 있었고, 그 중 수입된 옥수수와 소맥피가 가장 높았으며, 총 곰팡이의 오염은 10^2 - 10^4 /g 범위로서, 옥수수, 소맥피, 파과자에서 10^4 /g 정도로 높게 나타났으며, 특히 오염 곰팡이의 대부분이 내삼투압성 곰팡이었다. 대장균군의 오염은 13종 중 10종에서 검출되었으며, 역시 옥수수와 소맥 제품에서 10^2 - 10^5 /g 정도의 높은 오염도를 보였다. 한편 장내 병원성 세균은 모든 시료에서 검출되지 않았는데 이는 병원성 미생물의 오염원은 대체로 동물성 사료 원료 즉, 어분, 육 및 골분, 우모분 등에서 유래된다는 보고와 일치한다¹⁵⁾.

곡류 저장중 가장 문제시되는 미생물은 곰팡이류로서 곰팡이의 오염이 높았던 옥수수, 수수, 소맥피, Tapioca에서 이들을 분리 동정한 결과는 Table 2와 같다.

본 실험에서 분리된 곰팡이의 대부분이 내삼투압성 곰팡이로서 곡류의 낮은 수분 활성에서도 생

Table 1. Distribution of microorganisms in raw ingredients of feeds

Samples	(Colony forming counts/g)				
	Total bacteria	Total fungi	Osmophilic molds	Coliforms	Enteric pathogens
Corn I	2.3×10^4	2.9×10^4	1.2×10^4	—	—
Corn II	9.5×10^5	2.4×10^4	1.5×10^3	1.2×10^5	—
Corn III	4.5×10^3	9.7×10^3	2.8×10^3	1.4×10^2	—
Sorghum grain	5.7×10^4	1.0×10^4	5.1×10^3	3.2×10^3	—
Wheat grain	4.9×10^3	4.5×10^2	2.0×10^2	1.0×10^2	—
Wheat bran I	1.0×10^6	2.1×10^4	8.7×10^3	3.6×10^4	—
Wheat bran II	4.9×10^4	4.2×10^3	1.1×10^3	2.6×10^3	—
Tapioca	5.0×10^5	3.2×10^4	5.0×10^3	—	—
Wheat inner bran	2.9×10^4	9.0×10^2	1.2×10^2	1.4×10^3	—
Wheat embryo	5.5×10^3	2.0×10^2	—	1.6×10^3	—
Off-grade wheat flour	7.5×10^3	7.6×10^3	9.4×10^2	4.0×10^1	—
Broken-confectionery	1.7×10^5	3.0×10^4	2.3×10^3	4.4×10^2	—
Gluten feed	1.2×10^2	1.5×10^2	—	—	—

Table 2. Molds isolated from raw-ingredients of feeds

Genera Species	Potential mycotoxins ³⁾	Isolated samples
<i>A. 1) flavus</i>	Aflatoxin	Corn. Wheat
<i>A. Chevalieri</i>	Xanthocillin X	Sorghum grain
<i>A. niger</i>	Kojic acid	Corn. Sorghum grain
<i>A. oryzae</i>		Wheat. Corn
<i>P²⁾ commune</i>	Ochratoxin A	Tapioca
<i>P. expansum</i>	Patulin	Corn. Wheat
<i>P. verruculosum</i>	Verruculotoxin	Corn
<i>P. variabile</i>	Ochratoxin A	Wheat
<i>P. lanoso-griseum</i>		Tapioca
<i>P. daleae</i>		Tapioca

1) A: *Aspergillus* 2) P: *Penicillium* 3) Source: Mycotoxic Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicoses, Marcel Dekker Inc. (1977).

육이 가능하여 저장중 변질을 가져올 수 있으며, 특히 독소 생성이 가능한 곰팡이류의 오염이 높아 필수적으로 살균처리를 해야 할 것이다.

오염 미생물의 살균효과—사료나 사료 원료의 방사선 조사 목적은 공중 위생상 화학약품의 대체 방

안으로, 저장기간중 곰팡이나 다른 미생물, 해충 등의 생장에 따른 손실 방지와 *Salmonellae*나 *E. coli* 등과 같은 병원성 세균의 제거에 있으며, 더 나아가 SPF(specified pathogen free) 동물들의 사육과 실험동물의 무균사료와 같은 GF(germ-free) 동물들의 사육을 위하여 유용하게 사용될 수 있다⁵⁾. Fig. 1은 옥수수수와 소맥피의 오염 미생물의 방사선 조사 살균효과를 나타낸 것으로서 오염 미

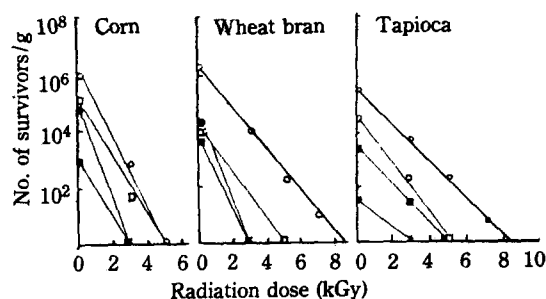


Fig. 1. The inactivation of microorganisms in corn, wheat bran and tapioca of animal feed by gamma irradiation.

○—○: Total aerobic bacteria, ●—●: Coliforms, □—□: Total fungi, ■—■: Osmophilic molds

생물들이 방사선 감수성이 높아 10⁶/g 정도의 호기성 전세균이 옥수수에는 5kGy, 소맥피에는 7kGy 조사로서 검출한계 이하까지 살균되었고, 대장균군 및 내삼투압성 곰팡이는 3kGy, 일반 사상균은 5kGy조사로서 거의 사멸되었다. 본 실험의 이와 같은 결과는 Watanabe 등의 옥수수와 수수의 감마선 조사에 의한 저장 연구에서 6kGy 정도의 조사선량은 전세균 및 곰팡이의 살균이 충분하였다는 결과와 거의 일치한다¹⁷⁾. 한편 혼증처리된 시료에서는 전세균의 살균이 다소 불충분하였으나 곰팡이와 대장균군은 완전 사멸되었다. 따라서 전분질원으로 사용되는 곡류 및 곡류 부산물들은 대개 5-7kGy 정도의 조사로서 살균효과를 충분히 달성할 수 있으며, 이들의 실용화를 위해서 조사 시 시료의 포장 방법과 조사후 저장 환경에 따른 미생물의 생육에 관한 연구가 더 수행될 예정이다.

이화학적 특성변화—실험에 사용된 두 시료의 일

반 성분은 Table 3과 같이 수분 함량은 13-14% 정도였고, 전당 함량이 48-69%로서 전분질 원료임을 알 수 있다.

Table 4는 살균을 위해 방사선 조사와 혼증처리(E.O.)된 두 시료의 이화학적 특성변화를 나타낸 것으로 전당 함량은 두 시료 모두 유의적인 변화가 없었고, 지질 성분의 산패와 관련된 TBA가에 있어서는 원료 자체의 지방 함량이 4% 내외로 낮음에 따라서 TBA가는 매우 낮은 값이었으나, 조사선량의 증가와 화학약품 처리에 따라 조금 증가된 값을 보였다. 이는 방사선 조사와 gas 처리시 온도등의 여러 조건들이 지방 산패에 다소나마 영향을 미침을 알 수 있었다. 시료의 색도에 있어서는 뚜렷한 변화는 없었으나 옥수수 시료의 적색도와 황색도가 10kGy 조사에 따라 다소 감소되었고, 소맥피의 명도는 E.O. 처리로서 낮은 값을 보였다.

Table 5는 살균 처리에 따른 총 아미노산의 변화를 나타낸 것으로 총 아미노산의 함량에 있어서는 옥수수의 경우 조사선량의 증가에 따라 다소 낮은 값을 보였으나 소맥피에서는 유의적인 변화가 없었으며 이러한 결과는 Ford¹⁸⁾, Eggum¹⁹⁾의 보고와 거의 일치하였다. 한편 E.O. 처리구에서는 두 시료 모두 대조구에 비해 10-15% 정도의 감소를 나타내었다. 이는 방사선 조사가 종래 사용되던 혼증처리 보다 영양적 측면에서 더욱 우수함을 알 수 있다.

Table 3. Proximate composition in raw ingredients of feeds

Samples	Components (%)					
	Moisture	Ash	Total sugar	Crude fiber	Crude protein	Crude fat
Corn	14.0	1.2	69.3	2.8	8.7	4.3
Wheat bran	13.7	4.9	47.9	7.9	15.7	4.7

Table 4. Comparative effects of ethylene oxide (E.O) and gamma irradiation on the physicochemical properties of corn and wheat bran as raw ingredients of feeds

Sample	Treatment	Total sugar (%)	TBA (mole/g)	Color parameters			
				Lightness(L)	Redness(a)	Yellowness(b)	E
Corn	Control	69.36	3.10 × 10 ⁻⁶	78.2	3.7	25.2	0.0
	5 kGy	69.28	4.14 × 10 ⁻⁶	78.0	3.8	24.6	0.7
	10 kGy	69.56	5.18 × 10 ⁻⁶	79.1	3.0	22.0	3.3
	E.O	69.50	3.16 × 10 ⁻⁶	78.5	3.4	25.5	0.5
Wheat bran	Control	47.90	1.28 × 10 ⁻⁵	60.3	7.4	15.1	0.0
	5 kGy	47.94	1.68 × 10 ⁻⁵	60.0	7.1	15.2	0.4
	10 kGy	47.93	1.88 × 10 ⁻⁵	60.8	6.9	15.1	0.6
	E.O	47.92	1.40 × 10 ⁻⁵	58.2	7.4	15.6	2.2

Table 5. Comparative effects of gamma irradiation and ethylene oxide (E.O) fumigation on the amino acid content of corn and wheat bran as a raw ingredient of feeds¹⁾

Amino acid	Treatment							
	Control		5 kGy		10 kGy		E.O	
	C ²⁾	W ²⁾	C	W	C	W	C	W
Aspartic acid	0.57	0.98	0.58	0.98	0.55	0.98	0.53	0.80
Threonine	0.23	0.36	0.23	0.37	0.22	0.37	0.22	0.30
Serine	0.40	0.63	0.41	0.64	0.38	0.63	0.38	0.51
Glutamic acid	1.40	2.62	1.38	2.60	1.33	2.58	1.30	2.26
Glycine	0.34	0.79	0.34	0.80	0.33	0.80	0.33	0.68
Alanine	0.62	0.67	0.62	0.68	0.62	0.71	0.62	0.60
Cysteine	0.21	0.23	0.19	0.24	0.20	—	0.17	—
Valine	0.31	0.37	0.24	0.37	0.23	0.48	0.23	0.43
Methionine	0.20	0.17	0.17	0.16	0.19	0.20	0.13	0.17
Isoleucine	0.21	0.25	0.17	0.25	0.15	0.24	0.17	0.21
Leucine	0.93	0.70	0.88	0.72	0.84	0.79	0.86	0.63
Tyrosine	0.12	0.20	0.09	0.19	0.12	0.19	0.08	0.15
Phenylalanine	0.67	0.85	0.66	0.86	0.69	0.80	0.58	0.63
Lysine	0.35	0.51	0.35	0.53	0.33	0.54	0.35	0.43
NH ₃	0.19	0.27	0.19	0.27	0.17	0.27	0.16	0.23
Histidine	0.14	0.22	0.14	0.22	0.14	0.22	0.06	0.19
Arginine	0.37	0.75	0.36	0.76	0.05	0.78	0.33	0.56
Proline	0.85	0.86	0.76	1.03	0.78	1.02	0.78	0.96

¹⁾ Total amino acid content is expressed as the percentage on the basis of dry weight

²⁾ C: Corn, W: Wheat bran

국문 요약

배합 사료의 전분질원으로 사용되는 13종의 곡류 및 곡류 부산물의 미생물 오염 정도와 방사선 조사에 의한 살균효과 및 이 화학적 특성변화를 조사한 결과는 다음과 같다. 13종의 사료 원료의 호기성 전세균의 오염은 10²-10⁶/g 범위였으며 5-7 kGy의 방사선 조사로 거의 살균되었고, 대장균 군은 10²-10⁵/g로 높게 오염되었으며 이들은 3-5 kGy 조사로서 완전 사멸되었다. 총 곰팡이의 오염은 10²-10⁴/g 정도로서 오염 곰팡이의 대부분이 내삼투압성 곰팡이였으며 5-7 kGy 조사로서 검출 한계 이하로 사멸되었다. 또한 이들에서 분리된 곰팡이는 *Aspergillus*속과 *Penicillium*속이었으며, 분리된 10여종의 곰팡이중 *Aspergillus flavus* group을 포함한 7여종의 잠재적 독소를 생성하는 균이었다. 총 아미노산과 전당 함량, 색도, TBA 등 이 화학적 특성변화에서는 고선량 방사선 조사와 훈증처리는 다같이 대조구에 비해 다소의 영향을 미쳤으나 훈증처리구는 더욱 현저하였다.

참고문헌

1. Korean Federation of Animal Feeds: The Present Condition of Mixed Feeds Produc-

tion and Raw Materials Use (1986).

2. Ito, H. and Iizuka, H.: Present status of radiation treatment of animal feeds in Japan. In "Decontamination of Animal Feeds by Irradi-

- ation," IAEA, Vienna, P. 15 (1975).
3. Ito, H., Kume, T., Takehisa, M. and Iizuka, H.: Distribution of microorganisms in animal feeds and their disinfection by radiation. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **55**, 1081 (1981).
 4. Mossel, D.A.A.: Rationale for the use of ionizing radiation in the elimination of enteropathogenic bacteria from feeds. In "Decontamination of Animal Feeds by Irradiation," IAEA, Vienna, P. 3 (1975).
 5. IAEA; Elimination of Harmful Organisms from Food and Feed by Irradiation (Proc. Panel Zeist, 1967), IAEA, Vienna (1968).
 6. APHA: Standard Method for the Examination of Dairy Products, 14th ed., New York (1978).
 7. Frazie, W.C. and Foster, E.M.: Laboratory Manual for Food Microbiology, 3rd, ed., Burgess Publishing Co., U.S.A. (1961).
 8. Muhamad, L.J., Ito, H., Watanabe, H. and Tamura, N.: Distribution of microorganisms in spices and their decontamination by gamma irradiation. *Agric. Bid. Chem.*, **50**, 347 (1986).
 9. Raper, K.B. and Fennel, D.I.: The Genus *Aspergillus*, Robert E. Krieger Pub. Co., Huntington, New York (1973).
 10. Raper, K.B., Thon, C. and Fenel, D.I.: Manual of the *Penicilli*, The Williams and Wilkins Co. (1949).
 11. Ainsworth, G.C., Sparrow, F.K. and Sussman, A.S.: The Fungi, An Advanced Treatise, Vol. 4A, Academic Press, New York (1961).
 12. AOAC: Official Methods of Analysis, 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. (1980).
 13. Turner, E.W., Paynter, W.D., Montie, E.J., Bessert, M.W., Struck, G.M. and Olson, F.C.: Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork. *Food Technol.*, **8**, 326 (1954).
 14. Cho, H.O., Byun, M.W., Kwon, J.H. and Lee, J.W.: Effects of gamma irradiation and ethylene oxide fumigation on the quality of dried marine products (Shrimp, Anchovy). *Kor. J. Food Hygiene*, **2**, 21 (1987).
 15. Ito, H., Begum, A., Kume, T. and Takehisa, M.: Distribution of microorganisms in fish meals of animal feed and their disinfection by radiation. *Nippon Nogeikagaku Kaish*, **57**, 9 (1983).
 16. Thomas, D. Wyllie and Lawrence G. Morehouse: *Mycotoxin Fungi, Mycotoxins, Mycotoxicoses*, Marcel Dekker Inc., New York and Base. (1977).
 17. Watanabe, H., Ito, H., Shibabe, S. and Iizuka, H.: Effect of gamma-irradiation on the storage of maize and milo. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, **45**, 500 (1981).
 18. Ford, D.J.: Influence of irradiation on protein and amino acids in laboratory rodent diet. In "Decontamination of Animal Feeds by Irradiation," IAEA, Vienna, P. 69 (1975).
 19. Eggum, B.O.: Effect of radiation treatment on protein quality and vitamin content of animal feeds. In "Decontamination of Animal Feeds by Irradiation," IAEA, Vienna, P. 55 (1975).