

감마선 조사된 개량메주의 보존 중 품질특성

김동호 · 이경행 · 육홍선 · 김재훈 · 신명곤* · 변명우
한국원자력연구소 방사선식품 · 생명공학연구팀, *우송대학교 식품생명공학부

Quality Characteristics of Gamma Irradiated- Grain Shape Improved *Meju*

Dong-Ho Kim, Kyong-Haeng Lee, Hong-Sun Yook, Jae-Hun Kim,
Myung-Gon, Shin*, Myung-Woo Byun

Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute
*School of Food Technology, Woosong University

Abstract

The effect of gamma-irradiation on the quality changes of the grain shape improved *Meju* was studied. *Meju* was prepared, irradiated at 0, 5, 10 and 20 kGy, and then stored at 25°C for six months. The results showed that the fungi and acid producing bacteria were completely eliminated by gamma-irradiation with dose of 10 kGy or higher and the *Bacillus* was decreased by 5 log cycles with dose of 10 kGy. The D_{10} values of the fungi, *Bacillus* and acid producing bacteria were 0.79, 2.28 and 1.17 kGy, respectively. Also, the microorganisms that survived irradiation was decreased significantly with the duration of storage period. The NH_3 -nitrogen, negative factors of quality of *Meju*, and browning were repressed and the protease activity and pH were not affected by gamma-irradiation. Therefore, it was considered that the *Meju* treated with gamma-irradiation maintained better quality than that of the control with storage.

Key words : *Meju*, gamma irradiation

서 론

메주는 우리나라의 전통발효식품인 간장, 된장, 고추장 등 장류의 원료로 사용되는 반건조 상태의 대두 발효제품이다^(1,2). 전통적인 메주는 대두를 증자한 다음 사각형, 또는 원추형 등의 형태로 성형하여 발효시킨다. 전통메주는 발효과정 중 표면은 건조되고 내부는 수분을 유지하여 수분활성도가 다른 두 개의 층을 형성하게 되며 이러한 수분활성도의 차이에 의하여 외부는 주로 *Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Aspergillus* 등의 곰팡이가, 내부는 주로 *Saccharomyces* 등의 효모와 *Bacillus*, *Staphylococcus* 등의 세균류가 서식하게 된다^(3,4). 메주의 미생물들은 효소를 분비하여 대두의 단백질이

나 탄수화물을 분해하며 향기성분, 유기산 등을 생성하게 되고 이러한 미생물들의 이차대사산물의 조성이 장류의 풍미를 결정하게 된다⁽⁴⁾. 그러나 한식메주는 자연상태의 다양한 미생물들이 발효에 관여하므로 균일한 품질의 제품을 생산하기 어렵고, 제조기간도 2-3개월이 소요되며, 제조시기가 겨울철로 제한되는 등 산업화가 어려운 문제점을 내포하고 있다^(1,4). 따라서 대량생산 체제의 산업체에서는 약 일주일 이내에 발효와 건조가 가능하고 제품의 품질을 균일하게 관리할 수 있는 낱알형의 개량메주를 이용하고 있다⁽⁵⁾. 낱알형의 개량메주는 낱알 상태의 증자대두에 *Aspergillus oryzae* 등의 포자를 접종하여 온도와 습도가 조절되는 제국실에서 2-3일 발효하여 제조하는데 이 때 *A. oryzae*는 백색의 균사를 형성하며 성장하게 되고 아울러 *Bacillus* 계통의 세균도 성장하여 메주의 발효에 관여한다.

메주는 제조 즉시 장을 담그는데 사용되는 것이 일반적이었으므로 메주의 보존성에 관한 논의는 그리 중요하게 여겨지지 않았다. 그러나 최근 들어 공장에서

Corresponding author : Myung-Woo Byun, Department of Food Irradiation, Korea atomic Energy Research Institute, P.O. Box 105 Yusung, Taejon, 305-600, Korea.
Tel : 82-42-868-8060
Fax : 82-42-868-8043
E-mail : mwbyun@nanum.kaeri.re.kr

생산된 장류제품의 원료나 위생에 대한 신뢰도, 판매에 대한 불만족, 보존료에 대한 거부감 등으로 인하여 소비자들의 자가제조 제품에 대한 선호도가 커지면서⁽⁶⁾ 장류의 원료가 되는 메주를 생산하여 판매하는 시장이 커지고 있다. 또한 장류 생산업체를 중심으로 중국 등지에서 직접 메주를 제조하여 수입하는 예가 늘어나면서 메주의 장기보존 방법에 대한 연구가 필요하게 되었다. 따라서 메주의 보존에 관한 기술개발이 필요하나 아직까지 자연보존 상태에서 벽돌형 메주와 콩알메주의 품질변화를 살펴보고 메주의 품질평가 지표로 아미노태질소, 암모니아태질소, 단백질분해효소활성을 제시한 박 등^(7,8)의 연구가 있을 뿐 메주의 보존기술에 관한 연구는 찾아보기가 어렵다. 박 등의 연구에서도 제시한 바와 같이 메주를 이용한 장류제품의 발효에는 메주의 효소활성도, 단백질의 분해정도를 나타내는 아미노태질소의 함량, pH 등이 중요한 요소로 평가되고 있으며^(7,8) 특히 *Bacillus* 등의 세균에 의하여 생성되는 암모니아태질소와 pyrazine류의 향기성분, 그리고 곰팡이의 포자는 장류제품의 품질 열화에 관계되는 것으로 알려져 있다⁽⁵⁾. 그러나 메주는 발효완료 후에도 계속적으로 미생물의 작용을 받게 되므로 상품으로서의 품질 유지가 어렵다. 따라서 메주의 품질열화를 일으키는 미생물의 생장을 억제하고 효소활성, 아미노태질소, pH 등은 초기의 품질을 유지시켜주는 보존기술의 개발이 요구된다.

한편, 식품의 방사선 조사는 발아나 숙도의 억제, 미생물의 살균에 의한 부패방지 및 제품의 안전성 향상과 같은 긍정적인 효과가 보고되어 이미 곡류를 비롯한 여러 농산물과 육류, 분말형 식품 등에서 유용하게 이용되고 있다^(9,10). 특히, 잔류성이 없고 식품 고유의 풍미와 생화학적 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 선택적인 살균효과를 나타내는 방사선 조사 기술의 특성으로⁽¹¹⁾ 메주와 같은 발효식품에 이 기술을 적용할 경우 상당한 효과가 기대된다. 따라서 본 연구에서는 메주의 보존성을 향상시키기 위한 기술개발의 방법으로서, 낱알상태의 개량메주에 감마선을 조사하여 보존기간에 따른 메주의 품질변화를 조사하였다.

재료 및 방법

원료 및 시약

원료 대두는 1999년에 수확된 강원도산 백태를 시중에서 구입하였다. 메주 발효균주는 (주)충무발효의 중국 *Aspergillus oryzae* CF-1001을 사용하였으며 일반 시약은 특급 제품을 사용하였다.

메주의 제조 및 방사선 조사

실험용 낱알메주는 대두를 20°C의 물에 10시간 동안 침지하여 건져낸 후 증기압 1.2 kg/cm²의 NK증자기(Myoungga Food Co., NK-II, Korea)에서 20분간 증자한 다음, 100×200×30 cm의 제국실에 100 kg의 대두를 투입하고 *Aspergillus oryzae* 종균을 대두량의 0.05%(w/w)되게 접종하여 제조하였다. 메주 제조 중 발효실의 온도는 30±1°C, 상대습도는 80±5%로 조절하였으며 메주의 발효시간은 2일 제국을 기준으로 45 시간까지로 하였다. 제조된 메주는 40°C의 건조기에서 24시간 건조하여 수분함량이 20%가 되도록 한 다음 방사선을 조사하였다. 방사선 조사는 한국원자력연구소의 선원 100,000 Ci, Co-60 감마선 조사시설(AECL, IR-79, Canada)을 이용하여 실온에서 분당 70 Gy의 선량율로 각각 0, 5, 10, 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다. 감마선을 조사한 시료는 poly ethylene 포장지에 밀봉하여 비조사 대조시료와 함께 25°C에서 6개월간 저장하면서 1개월 간격으로 분석하였다.

미생물 검사

제조된 시험액을 연속 희석하여 선택배지에 pour plating 방법으로 접종하고, 3일간 배양하여 생성된 colony의 수를 colony counter(IPI Inc., Microcount 1008, U.S.A.)를 사용하여 계수하고 이로부터 감마선 조사에 의한 미생물군의 D₁₀값과 12D값을 계산하였다. 이때, lactic acid(2.5 mL/L)와 chloramphenicol(100 mg/L)을 첨가한 potato dextrose agar(Difco) 배지를 25°C에 배양하여 나타난 미생물 집락을 곰팡이로, dextrose tryptone agar 배지를 50°C에 배양하여 나타난 미생물 집락을 *Bacillus*로, MRS agar(Difco) 배지를 30°C에 배양하여 나타난 미생물 집락을 산생성 세균으로 구분하였다.

일반분석

일반분석을 위한 시료는 메주 5 g을 분쇄하고 멸균 식염수(NaCl, 3%) 50 ml를 가하여 4°C에서 30분간 교반하고 냉장상태에서 2시간 정지한 다음 여과(Whatman No. 2)하여 제조하였다. 아미노태질소, 암모니아태질소, pH 등은 일반식품분석법⁽¹²⁾으로 분석하였으며, 여과액의 흡광도(O.D. at 500 nm)를 측정하여 메주의 갈색화 정도를 비교하였다. 중성단백질 분해효소의 활성은 0.5% casein을 기질로 하여 생성된 tyrosine을 Folin's법으로 측정하였다. 중성단백질 분해효소의 활성

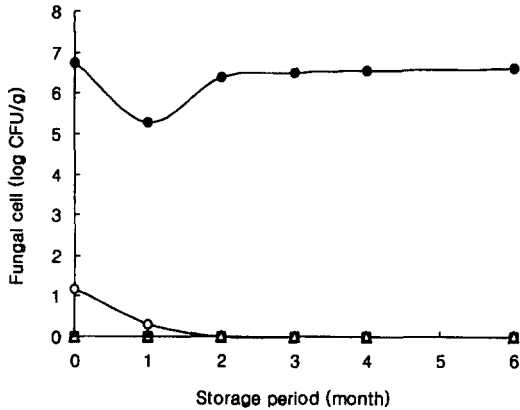


Fig. 1. Changes of the fungal cells in gamma irradiated-grain shape improved Meju during storage at 25°C.

● : non irradiation, ○ : 5 kGy, □ : 10 kGy, △ : 20 kGy

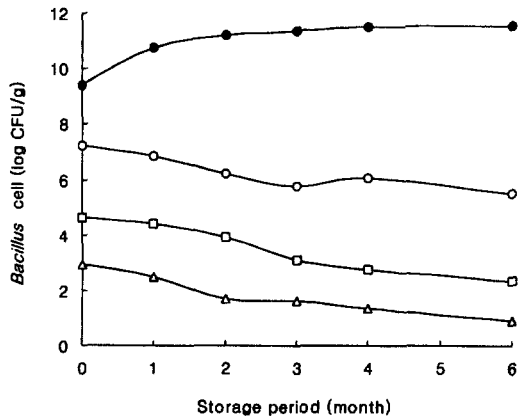


Fig. 2. Changes of the *Bacillus* cells in gamma irradiated-grain shape improved Meju during storage at 25°C.

● : non irradiation, ○ : 5 kGy, □ : 10 kGy, △ : 20 kGy

측정에 있어 기질용액의 제조, 효소반응조건 등은 김등⁽¹³⁾의 방법에 준하였으며 효소의 1 unit는 1분당 1 μ mole의 product를 유리시키는 효소의 양으로 하였다.

결과 및 고찰

미생물의 변화

감마선을 조사한 개량메주의 곰팡이(Fig. 1), *Bacillus* (Fig. 2), 산생성 세균(Fig. 3)의 생존율과 보존기간 동안의 성장변화를 측정하였다. 개량메주의 곰팡이는 비조사구에서 10^6 cells/g이었던 것이 5 kGy 조사시 10^1 cells/g 까지 감소되었으며 10 kGy 이상의 조사시에서는 완전사멸 되었다. *Bacillus*는 비조사구

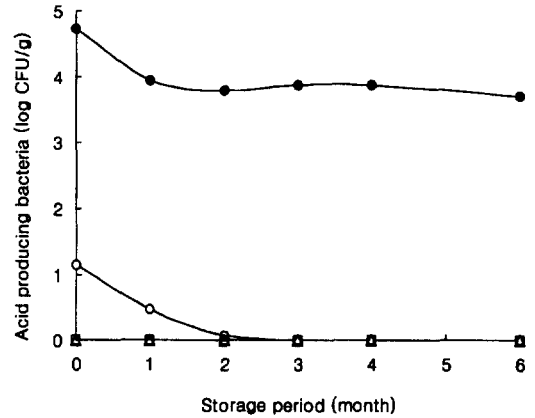


Fig. 3. Changes of the acid producing bacterial cells in gamma irradiated-grain shape improved Meju during storage at 25°C.

● : non irradiation, ○ : 5 kGy, □ : 10 kGy, △ : 20 kGy

Table 1. D_{10} and 12D values of *Bacillus*, fungi and acid producing bacteria in gamma irradiated-grain shape improved Meju

Microbial group	D_{10} value (kGy)	12D value (kGy)	Irradiation conditions	
			Atmosphere	Temp. (°C)
Fungi	0.79	9.55	air	15
<i>Bacillus</i>	2.28	27.41	air	15
Acid producing bacteria	1.17	14.08	air	15

에서 10^9 cells/g이었던 것이 10 kGy 조사시 10^4 cells/g 까지, 20 kGy 조사시 10^2 cells/g 까지 감소되었으나 완전 사멸되지는 않았고, 산생성 세균은 비조사구에서 10^4 cells/g이었던 것이 10 kGy 조사시에서는 완전사멸 되었다. 조사에 의한 메주 미생물군의 D_{10} 값은 곰팡이, *Bacillus*, 산생성 세균에서 각각 0.79, 2.28, 1.02 kGy이었으며 10^{12} 의 미생물을 완전히 사멸시킬 수 있는 이론적 수치인 12D값은 각각 9.55, 27.41, 14.08 kGy로 계산되었다(Table 1). 일반적으로 조사에 의한 미생물의 D_{10} 값은 영양세포 보다는 포자에서, 그리고 건조한 환경에서 높아지는 것으로 알려져 있다⁽¹⁴⁻¹⁷⁾. 본 연구에서 나타난 메주곰팡이의 D_{10} 값은 미생물 배양액 환경의 *Aspergillus* 포자에서 조사된 0.2~0.3 kGy의 D_{10} 값⁽¹⁴⁾보다는 높았고 곡류와 같이 수분 10~20%의 건조한 환경에서 조사된 2~5 kGy의 D_{10} 값⁽¹⁵⁾보다는 낮았다. 또한 *Bacillus* 영양세포의 D_{10} 값은 낮으나 endospore는 2.5 kGy 내외의 D_{10} 값을 갖는다는 보고를^(16,17) 감안한다면 메주발효 후에 생존하는 *Bacillus*의 대부분은 낮은 수분 환경에서

Table 2. Changes of amino nitrogen (NH₂-N) and ammonia nitrogen (NH₃-N) in gamma irradiated-grain shape improved *Meju* during storage at 25°C

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (month)					
		0	1	2	3	4	6
NH ₂ -N (mg%)	0	318	356	415	426	470	489
	5	320	336	372	396	406	416
	10	315	322	375	387	382	395
	20	319	310	344	368	351	374
NH ₃ -N (%)	0	0.37	0.44	0.58	0.62	0.64	0.72
	5	0.36	0.38	0.42	0.47	0.47	0.51
	10	0.37	0.36	0.44	0.42	0.45	0.48
	20	0.34	0.32	0.36	0.35	0.37	0.39

Table 3. Changes of pH, protease activity and browning pigments in gamma irradiated-grain shape improved *Meju* during storage at 25°C

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (month)					
		0	1	2	3	4	6
pH	0	7.12	7.11	7.08	7.05	7.01	6.96
	5	7.16	7.13	7.07	7.05	7.00	6.91
	10	7.18	7.14	7.09	7.04	6.99	6.94
	20	7.17	7.14	7.10	7.05	7.01	6.97
Protease (IU/g)	0	0.86	0.93	0.80	0.72	0.59	0.55
	5	0.85	0.82	0.83	0.71	0.58	0.54
	10	0.87	0.84	0.79	0.74	0.56	0.57
	20	0.84	0.88	0.82	0.69	0.60	0.51
Browning pigments (O.D. at 500 nm)	0	0.42	0.48	0.66	0.69	0.71	0.72
	5	0.43	0.45	0.53	0.58	0.63	0.66
	10	0.41	0.46	0.51	0.55	0.56	0.59
	20	0.42	0.43	0.47	0.50	0.52	0.52

endospore 상태로 존재하는 것으로 판단할 수 있었다. 한편, 보존기간 중의 미생물의 성장변화를 살펴본 결과, 비조사구에서는 보존초기 10⁹ cells/g이었던 *Bacillus*는 6개월 후 10¹¹ cells/g까지 증식하였고, 곰팡이는 보존 1개월에 1.5 log cycle 정도의 감소후 다시 증가하는 양상을, 산생성세균은 1 log cycle의 감소를 나타내었다. 이 중, 곰팡이의 초기감소는 영양세포인 균사가 건조조건에서 사멸한 때문이며 그 후 포자의 형성에 의하여 다시 증가한 것으로 해석되었다. 감마선을 조사한 시료에서는 조사 후 생존하였던 미생물들도 보존기간에 따라 유의적으로 감소하였는데 20 kGy 감마선 조사구의 경우 보존초기 10² cells/g이었던 *Bacillus*의 세포수가 보존 6개월 후에 10¹ cells/g 이하로 검출되었고 곰팡이와 산생성세균의 경우에도 5 kGy의 감마선 조사 직후 10¹ cells/g 이었던 것이 보존 2개월 후에는 검출되지 않았다. 이러한 결과는 감마선 조사에 의해 손상을 받은 생존세포가 보존기간이 경과함에 따라 주변 환경에 적응하지 못하고 점차 사멸되는 post-irradiation effect^(18,19)에 의한 것으로 판단되었다.

아미노태질소 및 암모니아태질소의 변화

장류제품의 숙성정도 및 보존기간중의 품질평가 지표가 되는 아미노태질소와 암모니아태질소의 변화를 측정하였다(Table 2). 초기의 아미노태질소는 모든 시험구에서 315~320 mg%의 범위였으나 보존 6개월 후, 비조사구는 489 mg%로 증가하였고 감마선 조사구는 조사선량이 높을수록 아미노태질소량의 상승이 억제되어 10 kGy에서는 395 mg%, 20 kGy에서는 374 mg%의 함량을 나타내었다. 암모니아태질소의 함량도 아미노태질소와 마찬가지로 보존초기 0.34~0.37%이었던 것이 보존 6개월 후, 비조사구는 0.72%로 증가하였고 감마선 조사구는 조사선량이 높을수록 암모니아태질소의 상승이 억제되어 10 kGy에서는 0.48%, 20 kGy에서는 0.39%의 함량을 보여주었다. 이러한 결과는 암모니아태질소 생성의 주요 요인인 *Bacillus*가 감마선 조사에 의하여 사멸되거나 생리적 활성이 감소되기 때문으로 판단된다. 한편 박 등⁽⁷⁾은 포장된 낱알형 개량메주의 보존에서 아미노태질소는 보존초기 0.29%에서 3개월 후 0.72%로, 암모니아태질소는 0.41%에서 3개월 후

0.57%로 증가하였고, 암모니아태질소의 함량이 높으면 간장의 맛과 풍미를 저하시킨다고 보고한 바 있다. 본 연구의 결과 비조사구는 박 등⁽⁷⁾의 결과와 유사한 양상을 보였으나 감마선 조사구에서는 암모니아태질소의 증가가 현저히 억제되어 감마선 조사에 의하여 메주의 품질향상과 보존기간의 연장이 가능할 것으로 판단되었다.

효소활성과 pH 변화

장류의 숙성에는 메주의 발효에 관여하는 미생물에 의하여 생산된 효소와 이차 대사산물이 복합적으로 작용하게 되는데 특히, 단백질 분해산물인 아미노산의 함량이 장류의 맛을 결정하는 주요 요소이므로 단백질 분해효소의 활성이 메주 품질평가의 중요한 지표가 된다. 단백질 분해효소 활성 측정 결과, 비조사구와 감마선 조사구 모두 보존초기에는 0.84~0.87 unit/g의 활성을 보여 감마선 조사에 의한 효소활성의 감소는 관찰되지 않았다. 한편, 보존기간에 따른 효소활성의 변화는 모든 시료에서 지속적으로 감소하여 보존 6개월째에는 초기 효소활성의 60% 수준인 0.51~0.57 unit/g의 범위를 보여 박 등^(7,8)의 결과와 일치하였고 비조사구와 감마선 조사구 사이에 유의적인 차이는 없었다. 메주의 pH는 비조사구와 감마선 조사구 모두 보존초기에는 7.12~7.18의 범위를 나타내어 감마선 조사에 의한 pH의 변화는 없었고 보존기간의 경과에 따라 조금씩 낮아져 보존 6개월 후에는 6.91~6.95를 유지하였으며 pH의 변화도 효소활성과 마찬가지로 감마선 비조사구와 조사구 사이에 유의적인 차이는 없었다.

갈색도 변화

메주는 보존기간에 따라 갈색도가 증가하여 장류제품의 제조시 외관에 영향을 미친다. 비조사구와 감마선 조사구의 갈색도를 조사한 결과 보존초기 흡광도(500 nm)가 0.41~0.43이었던 것이 보존 6개월 후, 비조사구는 0.71로 증가하였고 감마선 조사구는 조사선량이 높을수록 갈색화가 억제되어 10 kGy에서는 0.59, 20 kGy에서는 0.52의 흡광도를 보였다. 한편, 장류의 갈색화는 Maillard 반응과 같은 화학적인 작용뿐 아니라 melanin을 생성하는 *Bacillus*에 의해서도 유도되는 것으로 알려져 있으므로⁽²⁰⁾ 감마선 조사구의 갈색화 억제제의 상당부분은 *Bacillus*가 감마선 조사에 의하여 사멸되거나 생리적 활성이 감소한 때문으로 판단된다.

전통메주의 대체제품으로 시판되고 있는 낱알형 개량메주의 보존성 향상을 목적으로 메주에 0, 5, 10, 20 kGy의 선량으로 감마선을 조사하고 25°C에 6개월간 보존하면서 메주의 품질변화를 조사하였다. 실험 결과, 곰팡이와 산생성세균은 10 kGy의 감마선 조사로 완전사멸이 가능하였으며 *Bacillus*는 10 kGy의 조사선량에서 약 5 log cycle 정도의 감소를 나타내었다. 감마선 조사에 의한 미생물군의 D₁₀값은 곰팡이, *Bacillus*, 산생성 세균에서 각각 0.79, 2.28, 1.02 kGy 수준이었으며 감마선 조사 후 생존한 미생물들도 보존기간에 따라 지속적으로 감소하였다. 메주의 품질열화 요소인 암모니아태질소 함량과 갈색화도의 증가는 감마선 조사에 의하여 유의적으로 억제되었고 메주의 생화학적 품질평가 지표인 protease의 활성과 pH는 감마선 조사에 의해서 영향을 받지 않았다. 따라서 감마선 조사는 메주의 품질을 유지하는데 유용한 방법이 될 것으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

문헌

1. Lee, K.H., Kim, N.D. and Yoo, J.Y. Survey on the manufacturing process of traditional *Meju* for and of *Kanjang*(Korean soy sauce). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 390-396 (1997)
2. Oh, H.I. and Park, J.M. Changes in quality characteristics of traditional *Kochujang* prepared with a *Meju* of different fermentation period during aging. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 1166-1174 (1997)
3. Lee, S.S., Park, K.H., Choi, K.J. and Won, S.A. Identification and isolation of *Zygomycetous* fungi found on *Meju*, a raw material of Korean traditional soysauces. *The Korean Journal of Mycology* 21: 172-187 (1993)
4. Yoo, J.I., Kim, H.G. and Kim, W.J. Physico-chemical and microbiological changes of traditional *Meju* during fermentation in Kangweondo area. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 908-915 (1998)
5. Kim, D.H. Studies on the model systems of Korean traditional soy sauce using the soybean cereals fermented. Ph. D. Thesis, Chonnam National Univ., Korea (1998)
6. Park, C.K. and Hwang, I.K. Consumption pattern of Korean traditional soy sauce and consumer sensory evaluation. *Korean J. Soc. Food Sci.* 11: 521-526 (1995)
7. Park, C.K., Nam, J.H., Song, H.I. and Park, H.Y. Stud-

- ies on the shelf-life of the grain shape improved *Meju*. Korean J. Food Sci. Technol. 21: 876-883 (1989)
8. Park, C.K., Nam, J.H. and Song, H.I. Studies on the shelf-life of the brick shape improved *Meju*. Korean J. Food Sci. Technol. 22: 82-87 (1990)
 9. Thayer, D.W. Wholesomeness of irradiated foods. Food Technol. 48(5): 58-67 (1994)
 10. Olson, D.G. Irradiation of food. Food Technol. 52(2):56-54 (1998)
 11. Byun, M.W. Application and aspect of irradiation technology in food industry. Food Sci. Ind. 30(1): 89-100 (1997)
 12. Ryu, T.J., Lee, J.S., Kim, H.S. and Kwon, H.I. Laboratory Manual of Food. Soohaksa Co., Seoul, Korea (1979)
 13. Kim, D.H., Lim, D.W., Bai, S. and Chun, S.B. Fermentation characteristics of whole soybean *Meju* model system inoculated with 4 *Bacillus* strains. Korean J. Food Sci. Technol. 29: 1006-1015 (1997)
 14. Blank, G. and Corrigan, D. Comparison of resistance of fungal spores to gamma and electron beam radiation. J. Food Sci. 55: 275-276 (1990)
 15. Ito, H., Izuka, H. and Sato, T. Identification of osmophilic *Aspergillus* isolated from rice and their radiosensitivity. Agric. Biol. Chem. 37: 789-798 (1973)
 16. Haurnulv, B.G. and Snygg, B.G. Radiation resistance of spores of *Bacillus subtilis* and *B. stearothermophilus* at various water activities. J. Appl. Bacteriol. 36: 677-682 (1973)
 17. Briggs, A. The resistance of spores of the genus *Bacillus* to phenol, heat and radiation. J. Applied Bacteriology. 29: 490-504 (1966)
 18. Farkas, J. and Roberts, T.A. The effect of sodium chloride, gamma irradiation and/or heating on germination and development of spores of *Bacillus cereus* in single germinant and complex media. Acta Alimentaria 5: 289-302 (1976)
 19. Snyder, L.D. and Maxcy, R.B. The effect of aw of meat products on growth of radiation resistant *Moraxella acinetobacter*. J. Food Science 44: 33-36 (1979)
 20. Choi, U.K., Ji, W.D., Chung, H.C., Choi, D.H. and Chung, Y.G. Optimization for pigment production and antioxidative activity of the products by *Bacillus subtilis* DC-2. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 26: 1039-1043 (1997)

(2000년 3월 6일 접수)