KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.
Vol. 21, No. 2, pp 185~191(1989)

김치의 숙성관련 주요 젖산균 살균에 대한 가열처리와 방사선 조사의 병용효과

변명우 · 차보숙 · 권중호 · 조한옥 · 김우정*
한국에너지연구소 식품조사연구실, *세종대학교 식품공학과

The Combined Effect of Heat Treatment and Irradiation on the Inactivation of Major Lactic Acid Bacteria Associated with *Kimchi* Fermentation

Myung-Woo Byun, Bo-Sook Cha, Joong-Ho Kwon, Han-Ok Cho and Woo-Jung Kim*
Division of Food Irradiation, Korea Advanced Energy Research Institute, Seoul
**Department of Food Science, King Sejong University, Seoul*

Abstract

The combined effects of heat treatment and γ-irradiation on the inactivation of major lactic acid bacteria associated with *Kimchi* fermentation were investigated. The radiosensitivities (D_{10} values) of lactic acid bacteria in case of a single treatment of irradiation were 0.61 kGy in *Lactobacillus brevis*, 0.60 kGy in *Lactobacillus plantarum*, 0.50 kGy in *Leuconostoc mesenteroides*, 0.4 kGy in *Pediococcus cerevisiae*, 0.39 kGy in *Streptococcus faecalis*. The heat sensitization (D_{min} values) by a single treatment of heat ranged 9.2-15.6 at 50℃ and 3.7-5.5 at 60℃. Synegistic effects were shown in the radiosensitivities of *Streptococcus faecalis, Pediococcus cerevisiae, Lactobacillus plantarum,* and *Lactobacillus brevis* by the combined treatment(Dose multiplying factors ranged 1.20~1.56). It seems, therefore, that the combined treatment can be applied to the radiation preservation of *Kimchi*, minimizing the side-effects like physical changes induced by the high dose irradiation or heat treatment.

Key words: *Kimchi* fermentation, radiosensitivity, lactic acid bacteria, heat sensitization, dose multiplying factors.

서 론

본 연구는 김치의 저장성 연장을 위한 방사선 이용연구의 일환으로 수행되었다. 김치의 숙성에 관여하는 주요 젖산균은 *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus brevis, Leuconostoc mesenteroides, Peddiococcus cerevisiae, Streptococcus faecalis* 등 5종이라고 여러 연구자에 의해 밝혀졌다[2-6]. *Leuconostoc mesenteroides*와 *Streptococcus faecalis*는 발효초기에 많이 번식하며, 특히 *Leuconostoc mesenteroides*는 유산과 CO_2를 생성하여 김치내용물을 산성화하고 혐기적 상태로 전환시켜 호기성 세균의 생육을 억제하는 중요한 역할을 하며, 이 균은 숙성중기 이후까지도 존재한다[2]. *Pediococcus*는 중기 이후의 활발한 증식이 보고되고 있으며, 중기 이후부터 *Lactobacillus plantarum*과 *Lactobacillus brevis*가 김치숙성에 관여하며 특히 *Lactobacillus plantarum*은 김치숙성 보다도 숙성말기에 나타나 김치산패와 많은 관련이 있는 것으로 알려지고 있다[2,3]. 따라서 방사선 단독조사나 가열과의 병용처리에 의해서 김치의 저장기간 연장효과를 가져오기 위한 기초연구로서 김치숙성에 관여하는 상기 주요 균주의 방사선 감수성 및 그 살균효과를 조사하였다.

Corresponding author: Myung-Woo Byun, Division of Food Irradiation, Korea Advanced Energy Research Institute, P.O. Box 7, Cheongryang, Seoul 131-650

재료 및 방법

사용균주 및 배지

Lactobacillus brevis(IFD 3345), *Lactobacillus plantarum*(KFCC 11322 IFD 3070), *Leuconostoc mesenteroides*(KFCC 35471 IFD 12060), *Pediococcus cerevisiae*(KFCC 11728 IFD 12231), *Streptococcus faecalis*(*KFCC* 11729 *IFD* 3971)를 대상균주

로 사용하였으며 배양기는 *Bacto-Lactobacilli MRS Broth(Difco Lab.)*와 여기에 *Bacto-agar*를 첨가하여 사면 및 평판배양기로 사용하였다.

젖산균 현탁액의 조제

각 젖산균을 사면배지에서 24시간마다 수회 계대배양한 것을 동일한 액체배지 100*ml*에 접종하고 37℃에서 23시간 rotary shaking incubator를 사용하여 진탕 배양한 후에(100rpm) 이 현탁액 1m*l*를 다시 위와 동일한 새 액체배지 100m*l*에 접종하고, 4-4.5시간 진탕 배양시켜서 대수기의 영양세포를 얻었다. 이 영양세포 현탁액 25m*l*를 0-2℃에서 8분간 원심분리 (7,000rpm)하여 얻은 세포잔사를 냉 M/15-phosphate buffer로 2회 세척, 전과 동일한 조건으로 원심분리하여 최종 영양세포의 농도가 완충액 1m*l*당 10^8~10^9개가 되므로 조절하였다[7,8].

방사선과 가열단독처리 및 생균수 계수

공시균주의 영양세포 현탁액 2.0m*l*를 멸균시험관(ϕ 1.0×10cm)에 옮겨, 방사선 조사 살균처리는 10,000 Ci, Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 71.5 Gy/min의 선량율로 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 kGy를 각각 조사하였으며, 가열처리는 50, 60±0.2℃의 항온수조에서 각각 5분, 10분, 20분, 30분간 열처리하였다. 각각 살균처리 직후 세균현탁액을 냉 M/15-phosphate buffer로 적절히 희석하여 평판배지에 0.2m*l*씩 접종한 후 37℃에서 1-2일간 배양하고 형성된 집락을 계수하였다.

가열과 방사선 조사의 병용처리

가열과 방사선 조사와의 병용처리시 살균효과를 조사하기 위하여 공시 균주의 영양세포 현탁액 2.0m*l*를 시험관 (ϕ 1.0×10cm)에 옮겨, 50, 60±0.2℃의 항온수조에서 각각 10분, 20분, 30분 열처리한 직후, 상기와 같은 선량율로 방사선을 조사하고 동일한 방법으로 평판배지에 옮겨 정온 배양하여 형성된 집락을 계수하였다.

결과 및 고찰

젖산균의 방사선 살균효과

본 연구에서 *Lactobacillus brevis*를 포함한 5종의 젖산균에 대한 방사선 감수성은 그림 1의 생존곡선과 이들 생존곡선으로부터 D_{10} 값, 12 D_{10} 값과 김치 저장성 연장을 위해 적정선량으로 예상되는 2 kGy와 3 kGy에서의[1] 불활성화 계수(n)를 계산하여 표1과 같은 결과를 얻었다. 먼저 이들 젖산균이 대수기의 생존곡선은 그림 1과 같이 거의 직선으로서 유도선량 (I)은 무시될 정도였으며, D_{10} 값으로 나타낸 방사선감수성은 젖산균의 종류에 따라 차이를 나타냈는데 *Streptococcus faecalis*가 0.39 kGy로 가장 낮았고 그 다음이 *Pediococcus cerevisiae*로 0.40 kGy, *Leuconostoc mesenteroides*는 0.50 kGy, *Lactobacillus plantarum*이 0.60 kGy의 순이었으며 *Lactobacillus brevis*가 0.61 kGy로 가장 높았다. 일반적으로 유포자세균이 불활성화 되려면 고선량의

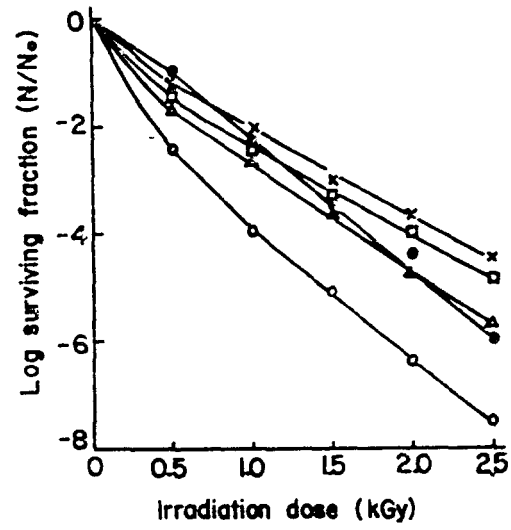

Fig. 1. Radiation survival curves of bacterial cells related to *Kimchi* fermentation. —×—: *Lactobacillus brevis*, —□—: *Latobacillus plantarum*, —△—: *Leuconostoc mesenteroides*, —●—: *Pediococcus cerevisiae*, —○—: *Streptococcus faecalis*.

Table 1. Radiosensitivity of bacterial cells related to *Kimchi* fermentation

Strain	D_{10} value (kGy)	$12D_{10}$ value (kGy)	Inactivation factor 2 kGy	Inactivation factor 3 kGy
Lactobacillus brevis	0.61	7.32	3.28	4.92
Lactobacillus plantarum	0.60	7.20	3.33	5.00
Leuconostoc mesenteroides	0.50	6.00	4.00	6.00
Pediococcus cerevisiae	0.40	4.80	5.00	7.50
Streptococcus faecalis	0.39	4.68	5.13	7.69

방사선조사가 요구되나 무포자영양 세포의 경우는 방사선 감수성이 높아 본 실험에 사용한 젖산균의 경우도 방사선에 다소 민감한 것으로 나타났다. 한편 이들의 완전 살균을 위해서는 4.68 kGy에서 7.32 kGy 범위의 조사선량이 요구되었으며, 불활성화 계수에 있어서는 2 kGy 조사로써 10^{-3}~10^{-5}, 3 kGy 조사로써는 10^{-4}~10^{-7} 이상 상기 젖산균을 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다.

가열 살균효과

그림 2는 김치발효 주요 젖산균의 가열처리 후 생존곡선을 나타낸 것으로서 50℃에서는 거의 직선이었고, 60℃에서는 가열 10분까지 급격한 감소를 보여 다소 곡선 모양을 나타냈으며, 이들 생존곡선으로부터 얻어진 D값을 표 2와 같다. 50℃와 60℃의 가열처리구 모두 *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Pediococcus cerevisiae*, *Streptococcus faecalis*의 순으로 열저항성을 나타냈으며, 50℃에서 D값은 *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*는 10분 정도였고, *Pediococcus cerevisiae*와 *Streptococcus faecalis*는 15분 정도였다. 60℃의 가열처리로서는 *Lactobacillus brevis*가 3.7로 가장 낮았으며 *Pediococcus cerevisiae*가 5.5로 가장 높았으나, 모든 균주가 5분 이내의 D값을 나타내어 일반적으로 열에 대한 저항성이 낮았으며, 특히 김치는 산성식품(pH 4.5이하)이며 식염을 함유하기 때문에 열에 대한 감수성이 더 높아질 것으로 생각된다.

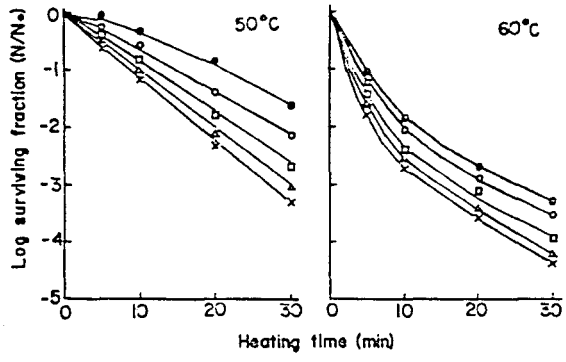

Fig. 2. Heat survival curves of bacterial cells related to *Kimchi* fermentation. —●—: *Pediococcus cerevisiae*, —○—: *Streptococcus faecalis*, —□—: *Latobacillus plantarum*, —△—: *Leuconostoc mesenteroides*, —×—: *Lactobacillus brevis*.

가열과 방서선 조사의 병용살균 효과

방사선의 살균작용에 대한 상승효과를 가져 오며 가열이나 약품처리에서 오는 식품의 영양적, 위생적, 물성변화 등의 문제점을 해결하기 위하여, 가열이나 약품처리 및 방사선 조사를 병용하면 비교적 낮은 온도, 낮은 농도 및 저선량의 방사선 조사로써 목적하는 바 살균효과를 기대할 수 있으므로, 이러한 견지에서 방사선 조사와 다른 물리적 방법과의 병용처리 연구가 많이 시도되고 있으며[14] 특히 가열과 방사선처리의 순서에 관계없이 살균작용의 상승효과를 나타내고 있으나 가열처리 후 방사선 조사에서 살균효과가 더 현저한 것으로 알려지고 있다[14-19]. 김치의 경우에 있어서도 살균처리 후 2차 오염의 방지에서나 포장 등의 살균처리 공정상에 있어서 방사선 조사전의 가열처리가 더 좋은 것으로 생각되어 방사선 조사전 가열처리 방법을 이용하였다.

먼저 그림 3과 표 3은 *Lactobacillus plantarum*의 불활성화를 위한 가열과 방서선 조사와의 병용처리 효과를 나타낸 것으로서, 50℃ 및 60℃ 열처리 모두 처리시간이 길어짐에 따라 방사선 감수성은 증가하였으나 그 증가폭은 낮았다. 즉 50℃에서 10분 처리한 경우 DMF(Dose multiplying factor : 선량비율) 값이 1.20인데 비해 20분에서는 1.25, 30분에서 1.28이었고, 60℃에서도 10분은 1.22, 20분은 1.28, 30분은 1.33으로 50℃에서 10분 가열처리한 것보다 큰 상승효과가 없었다. 또한 방사선 단독처리의 12 D_{10} 값이 7.2 kGy인데 비하여 가열처

Table 2. Heat sensitivity of bacterial cells related to *Kimchi* fermentation

Temperature (°C)	D value (min) a)				
	Lactobacillus brevis	*Lactobacillus plantarum*	*Leuconostoc mesenteroides*	*Pediococcus cerevisiae*	*Streptococcus faecalis*
50	9.2	11.3	10.1	15.6	14.0
60	3.7	4.3	4.0	5.5	4.8

a) D value (Decimal reduction time): The time in minutes required to destroy 90% of the population

Table 3. Combined effect of radiation(R) and heat (H) on the inactivation of *Lactobacillus plantarum*

	R	R+H (50°C)			R+H (60°C)		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
D_{10} value (kGy)	0.60	0.50	0.48	0.47	0.49	0.47	0.45
DMF[a]	1.00	1.20	1.25	1.28	1.22	1.28	1.33
$12D_{10}$ value (kGy)	7.20	6.00	5.76	5.64	5.88	5.64	5.40
Inactivation factor at 2 kGy	3.33	4.00	4.17	4.26	4.08	4.26	4.44

a) DMF: Dose multiplying factor

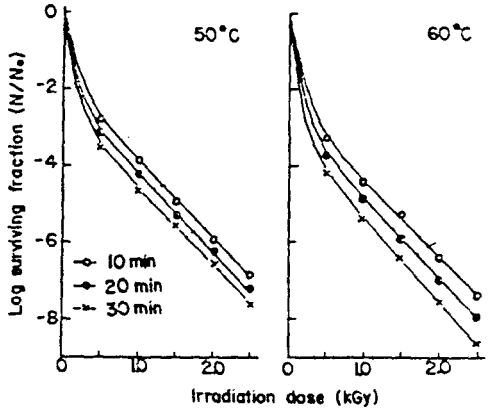

Fig. 3. Survival curves of *Lactobacillus plantarum* by the combined treatment of radiation and heat.

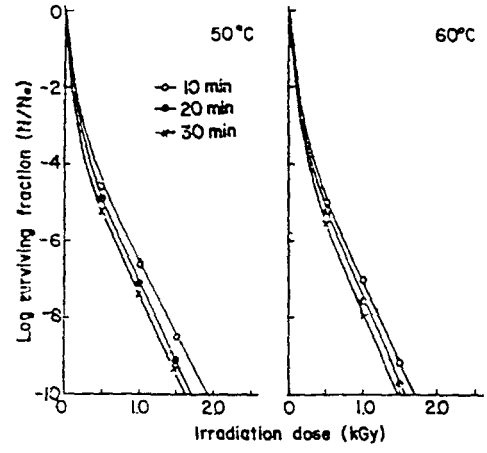

Fig. 4. Survival curves of *Streptococcus faecalis* by the combined treatment of radiation and heat.

리와의 병용처리는 5.4-6.0 kGy 범위로 거의 1 kGy 이상의 조사선량을 감소시킬 수 있다. 그림 4와 표 4의 *Streptococcus faecalis*는 본 실험에서 사용한 5가지 균주중 방사선 감수성(D_{10} 값)이 0.39 kGy로 가장 높았으며, 반면 열저항성은 $D_{50℃}$=14로 상당히 높았다. 그러나 가열과 방사선 조사와의 병용처리로써 방사선 감수성의 증가 즉, 살균작용에 있어서 더 큰 상승효과를 가져 왔다. 방사선 단독처리는 D_{10} 값이 0.39 kGy(DMF=1.00)였으나, 50℃에서 10, 20, 30분간 가열처리한 D_{10} 값은 0.26, 0.25, 0.24 kGy로서 DMF가 1.50-1.63이었으며, 60℃에서도 10, 20, 30분간 열처리로 0.24, 0.22, 0.21 kGy의 D_{10} 값을 보였고 DMF도 1.63-1.86으로 크게 증가하였다. 또한 김치저장을 위한 적정조사선량으로 생각되는 2 kGy 선량에서의 불활성화 계수는 50℃에서는 7.7-8.33, 60℃에서 8.33-9.52였다. 즉, 2 kGy 조사

Table 4. Combined effect of radiation(R) and heat (H) on the inactivation of *Streptococcus faecalis*

	R	R+H (50°C)			R+H (60°C)		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
D_{10} value (kGy)	0.39	0.26	0.25	0.24	0.24	0.22	0.21
DME[a]	1.00	1.50	1.56	1.63	1.63	1.77	1.86
$12D_{10}$ value (kGy)	4.68	3.12	3.00	2.88	2.88	2.64	2.52
Inactivation factor at 2 kGy	5.13	7.70	8.00	8.33	8.33	9.09	9.52

a) DMF: Dose multiplying factor

로써 *Streptococcus faecalis*를 50℃에서 열처리한 것은 10^{-7}~10^{-8}, 60℃에서 10^{-8}~10^{-9} 이하로 사멸시킬 수 있음을 나타낸다.

*Pediococcus cerevisiae*는 본 실험에 사용한 균주중 열저항성이 가장 높아 $D_{50℃}$=15.6 이었으며, 방사선 저항성은 0.4 kGy로 낮았으나 그림 5 및 표 5와 같이 가열과 방사선 조사와의 병용처리 살균효과가 크게 증가하였다. 본 실험에서 이러한 결과는 상기 *Streptococcus faecalis*의 경우와도 동일하며 열저항성이 큰 세균 일수록 병용처리시 방사선 감수성의 증가효과를 나타내었다. 이러한 결과는 Reynolds 및 Brannen[20]과 Choi[21] 등이 *Bacillus subtillis*에, Matsuyama 등[22]은 *Escherichia coli K-12*에 가열과 방사선을 병용처리한 바 살균작용에 상승효과를 나타냈으며, 특히 조사전 가열처리에서 그 효과가 현저하였다는 보고와 일치한다. 한편 *Pediococcus cerevisiae*는 동일한 온도에서 가열시간을 10분에서 20분, 30분으로 연장함에 따라 방사선 감수성은 증가하였으나, 50℃에서의 열처리가 60℃에서 보다 상승효과가 높아 50℃에서의 DMF가 1.43-1.74, 60℃에서는 1.14-1.43이었다. 또한 50℃에서의 불활성화 계수는 앞의 *Streptococcus faecalis*와 거의 비슷한 7.14-8.70 범위였다.

*Lactobacillus brevis*의 경우는 그림 6 및 표 6과 같이 50℃에서 20분 및 30분간 가열처리로써 DMF가 1.05와 1.15로 다소 증가되었으나 큰 상승효과는 없었고, 60℃에서는 30분간 가열처리한 시험구에서 DMF가 1.11로 약간의 상승효과가 있었다.

그림 7과 표 7의 *Leuconostoc mesenteroides*에 있어서는 60℃에서 20분간 및 30분간 가열처리한 시험구에서만 DMF가 1.02와 1.04로 약간의 상승효과를 보였고, 50℃에서는 앞의 4가지 균주와는 다르게 DMF 값이 10분간 가열처리시 0.86, 20분은 0.91, 30분에서는 0.94로서 방사선 단독처리시 보다 오히려 감소하는 현상을 보여 가열이 방사선의 살균작용을 저해하는 결과, 즉 방사선 저항성을 증가시키는 이른바 보호효과를 나타냈다. 이러

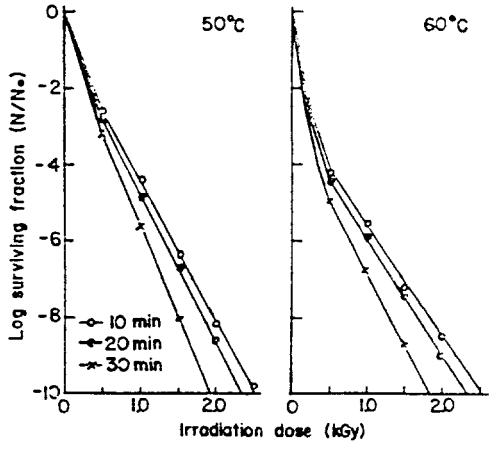

Fig. 5. Survival curves of *Pediococcus cerevisiae* by the combined treatment of radiation and heat.

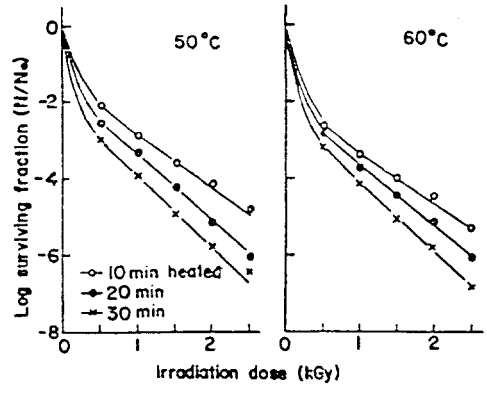

Fig. 6 Survival curves of *Lactobacillus brevis* by the combined treatment of radiation and heat.

Table 5. Combined effect of radiation(R) and heat (H) on the inactivation of *Pediococcus cerevisiae*

	R	R+H (50°C)			R+H (60°C)		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
D_{10} value (kGy)	0.40	0.28	0.26	0.23	0.35	0.33	0.28
DMF[a]	1.00	1.43	1.54	1.74	1.14	1.21	1.43
$12D_{10}$ value (kGy)	4.80	3.36	3.12	2.76	4.20	3.96	3.36
Inactivation factor at 2 kGy	5.00	7.14	7.69	8.70	5.71	6.06	7.14

a) DMF: Dose multiplying factor

Table 6. Combined effect of radiation(R) and heat (H) on the inactivation of *Lactobacillus brevis*

	R	R+H (50°C)			R+H (60°C)		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
D_{10} value (kGy)	0.61	0.70	0.58	0.53	0.75	0.63	0.55
DMF[a)]	1.00	0.87	1.05	1.15	0.81	0.97	1.11
$12D_{10}$ value (kGy)	7.27	8.40	6.96	6.36	9.00	7.56	6.60
Inactivation factor at 2 kGy	3.28	2.86	3.45	3.77	2.67	3.17	3.64

a) DMF: Dose multiplying factor

Table 7. Combined effect of radiation(R) and heat (H) on the inactivation of *Leuconostoc meseteroides*

	R	R+H (50°C)			R+H (60°C)		
		10 min	20 min	30 min	10 min	20 min	30 min
D_{10} value (kGy)	0.50	0.58	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48
DMF[a)]	1.00	0.86	0.91	0.94	0.98	1.02	1.04
$12D_{10}$ value (kGy)	6.00	6.96	6.60	6.36	6.12	5.88	5.76
Inactivation factor at 2 kGy	4.00	3.45	3.64	3.77	3.92	4.08	4.17

a) DMF: Dose multiplying factor

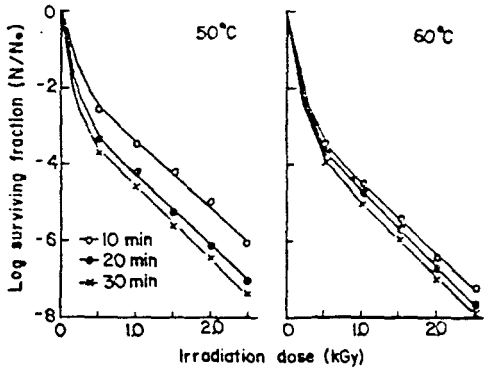

Fig. 7. Survival curves of Leuconostoc mesenteroides by the combined treatment of radiation and heat.

한 결과는 Choi[21]가 보고한 *Bacillus megaterium* 에서도 동일한 경향을 보였다.

이상에서와 같이 *Lactobacillus plantarum, Streptococcus faecalis, Pediococcus cerevisiae* 는 50℃에서 10분간 가열처리와 방사선 조사와의 병용처리로써 방사선 감수성이 크게 증가하는 상승효과를 보였고, *Lactobacillus brevis* 는 50℃에서 20분 이상, *Leuconostoc mesenteroides* 는 60℃에서 20분 이상의 열처리로서만 약간의 상승효과를 보였으나 큰 효과는 없었다. 특히 *Lactobacillus brevis* 는 김치발효 중기 이후부터 생육하는 젖산균이며, *Leuconostoc mesenteroides* 는 발효초기에 크게 증식하여 김치 발효에 중요한 역할을 하는 젖산균으로 알려지고 있어서[2,3] 이와같은 실험결과를 실제의 김치 저장성 연장에 이용할 때 많은 장점이 있을 것으로 생각된다.

요 약

김치발효에 관련된 주요 젖산균의 방사선 조사, 열처리와의 병용처리에 의한 효과실험에 있어서 단독처리시 방사선 감수성 (D_{10} 값)은 *Lactobacillus brevis* 는 0.61 kGy, *Lactobacillus plantarum* 이 0.60 kGy, *Leuconostoc mesenteroides* 가 0.50 kGy, *Pediococcus cerevisiae* 가 0.40 kGy, *Streptococcus faecalis* 가 0.39 kGy였다. 가열 단독처리시 $D_{(min)}$ 값은 50℃에서는 9.2-15.6 이었고, 60℃에서는 3.7-5.5 범위였다. 또한 가열과 방사선과의 병용처리로서 *Streptococcus feacalis, Pediococcus cerevisiae, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus brevis* 는 50℃에서 10-20분간 가열처리함으로써 방사선 감수성의 현저한 상승효과를 나타내었다(선량비율 : 1.20-1.56 범위). 이러한 결과를 김치저장에 적용하면 김치의 물성변화를 최소로 하고 낮은 방사선 조사선량으로도 김치의 저장성 연장목적을 달성할 수 있을 것으로 생각된다.

문 헌

1. 조한옥·변명우·권중호·김석원·양재승·차보숙 : 방사선에 의한 식품 저장 연구, 한국에너지연구소 보고서, KAERI/RR-661/87 p.8(1987)
2. 김호식·전재근 : 김치발효 중의 세균의 동적변화에 관한 연구, 원자력 논문집, 6, 112(1966)
3. 민태익·권태완 : 김치발효에 미치는 온도 및 식염농도의 영향, 한국식품과학회지, 16, 443(1984)
4. 김호식·황규찬 : 김치의 미생물학적 연구 (제 1 보), 혐기성 세 균의 분리와 동정, 과연휘보, 4, 56(1959)
5. 황규찬·정윤수·김호식 : 김치의 미생물학적 연구 (제 2 보), 호기성 세균의 분리와 동정, 과연휘보, 5, 51(1960)
6. Pederson, C.S. and Albury, M.N. : The influence of salt and temperature on the microflora of sauerkraut fermentation, *Food Tech.*, 8, 1(1954)
7. Kamat, A.S. and Pradhan, D.S. : Involvement of calcium and dipicolinic acid in the resistance *Bacillus cereus* BIS-59 spore to U.V. and gamma radiation, *Int. J. Radiat. Biol.*, 51, 7(1987)
8. 최언호·김영배·이서래 : 고추가루중 미생물의 분리 및 방사선 감수성, 한국식품과학회지, 9, 205(1977)
9. Cho, H.O., Kitayama, S., and Matsuyama, A. : Radiation sensitization of *Micorcoccus radidurans* by postirradiation incubation at nonpermissive temperature, *Radiat. Res.*, 60, 333(1974)
10. Okazawa, Y. and Matsuyama, A. : A note on radiation resistance of *Micrococcus radiodurans*, *Agric. Biol. Chem.*, 31, 1505(1967)
11. Matsuyama, A., Okazawa, Y., Arai, H., and Mifune, M. : Isolation of radioresistant bacterium, Arthrobacter from the high-background radioactivity area, *Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res.* (Japan), 67, 35(1973)
12. IAEA : Training manual on food irradiation technology and Techniques, technical reports series No. 114, second edition, p.43-60, Vienna (1982)
13. Matsuyama, A. : *Radiation Preservation of Food* (Proc. Symp. Bombay, Nov. 192, IAEA/FAO), IAEA, Vienna, p.216(1973)
14. IAEA : *Combination processes in food irradiation* (Proc. Symp., Colombo, 24-28 Nov. 1980, IAEA/FAO), IAEA, Vienna, p.3-335(1981)
15. Sommer, N.F., Creasy, M., Romoni, R.J. and Maxie, E.C. : An oxygen dependent postirradiation restoration of *Rhizopus Stolonifer Sporangiospores, Radiation Research,* 22, 21(1964)
16. Lewis, N. and Kumta, U. : Radiosensitization of *micrococcus radiophilus, radiation research,* 62, 159(1975)
17. Josephson, E.S. and Peterson, M.S. : *Preservation of food by ionizing radiation,* CRC Press, Inc., Florida, p.181(1982)
18. Ewig, D. : Sensitization of bacterial spores by P-Nitroacetophenone (PNAP) and 0.8% 02, *Radiation Research,* 72, 291(1977)
19. Ewig, D. : Additive sensitization of bacteria spores by oxygen and P-Nitroacetophenone, *Radiation Research,* 73, 121(1978)
20. Reynolds, M.C. and Brannen, J.P. : *Radiation preservation of food* (Proc. Symp., Bombay, Nov. 1972, IAEA/FAO) IAEA, Vienna, p.165(1973)
21. 최언호 : 미생물의 방사선 방사선 감수성과 DNA 손상에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문 (1980)
22. Matsuyama, A., Kaneko, F. and Okazawa, Y. : *Food irradiation* (Japan), 12, 33(1977)

(1988년 9월 20일 접수)