J. Fd Hyg. Safety 15(3), 256–261 (2000)

감마선 조사 숙면의 미생물 및 일반 품질특성 변화

김동호 · 육홍선 · 안현주 · 조철훈 · 변명우†
한국원자력연구소 방사선식품 · 생명공학 기술개발팀

Changes of Microbiological and General Quality Characteristics of Gamma Irradiated Half-Cooked Noodle

Dong-Ho Kim, Hong-Sun Yook, Hyun-Ju Ahn, Chol-Hoon Cho and Myung-Woo Byun†
Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute, P.O. Box 105 Yusung, Daejon 305-600, Korea

ABSTRACT – Effect of gamma irradiation on quality properties of half-cooked noodle was studied. The noodle were treated with lactic acid(0.1%, w/w), heat(10 min in boiling water) or their combination after cooking for 3 min, and irradiated at 0, 5 and 10 kGy. The noodle were stored at 25°C for 5 weeks and microbial population, Aw, pH, and texture profiles were examined. Fungi were completely eliminated by gamma-irradiation with 5 or 10 kGy does. Number of aerobic bacteria were also decreased by 2 and 4 log cycles with dose of 5 and 10 kGy, respectively. The D_{10} values of aerobic bacteria were 2.34~2.95 kGy. Growth of the aerobic bacteria that survived even at 10 kGy of irradiation were significantly inhibited during storage. Acidification of half-cooked noodle was suppressed by gamma irradiation but A_w were not affected. Stickiness was decreased at the beginning of storage by gamma irradiation but was restored after 3 weeks. The results indicated that the gamma irradiation would be useful to improve quality and storage stability of half-cooked noodle.

Key words □ Gamma Irradiation, Noodle, Quality, Storage stability

면은 곡분 또는 전분을 주원료로 하여 성형하거나 이를 가공한 것으로 그 가공 방법과 제품의 형태에 따라 건면, 생면, 숙면, 유탕면, 냉동면 등으로 구분한다.[1] 전통적으로 국수의 소비는 건면과 라면으로 대표되는 유탕면을 중심으로 이루어져왔으나 살균기술의 발달, 저온유통의 확산과 같은 산업적 요소와 관능과 편이성의 추구, 식품의 고급화 등의 소비자 요구에 의하여 점차 생면과 숙면, 냉동면의 시장이 확대되고 있다.[2] 특히 숙면은 즉석에서 조리가 가능하고 조리시간이 짧아 휴게소나 편의점 등에서 즉석식품으로서의 활용도가 급증하고 있다. 그러나 숙면은 수분활성도가 높아 전분의 노화가 빠르게 진행되고 미생물의 증식이 용이하여 유통기한이 제한되고 식품위생상의 위해 가능성이 큰 단점이 있다.[3] 이러한 문제를 해결하기 위하여 숙면의 제조시에는 방부제의 첨가, 산처리, 포장후 열살균과 같은 방법을 사용하여 왔으나 이 방법들도 여전히 소비자들의 방부제 사용에 대한 거부감, 관능의 저하, 미생물 증식의 위험성과 같은 문제점을 내포하고 있다.

한편, 식품의 방사선 조사는 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 유용하고 안전한 식품 살균방법으로 공인되어 이미 곡류를 비롯한 여러 농산물과 육류, 분말형 식품 등에 이용되고 있다.[4] 특히, 감마선 조사기술은 완전 포장 후 살균이 가능하고 잔류성이 전혀 없으며 식품 고유의 풍미와 생화학적 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 강력한 살균효과를 나타내는 특성을 가지므로 즉석식품의 보존성 및 위생성의 향상에도 좋은 효과를 보일 것으로 예상된다[5] 감마선 조사를 이용한 면의 위생화에 관한 연구는 일본의 soba[6-8] 등에서도 찾아볼 수 있으나 국내에서는 아직 이에 관한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 즉석식품의 하나인 숙면의 보존성과 위생성을 향상시키기 위한 기술개발의 방법으로 숙면에 감마선을 조사한 다음 저장기간 중의 미생물 및 일반성분, 물성 등의 변화를 살펴보았다.

†Author to whom correspondence should be addressed.

재료 및 방법

면의 제조 및 감마선 조사

본 실험에 사용된 숙면은 (주)다함의 생산 설비에서 제조하였으며 밀가루는 Australian Standard Wheat(ASW)로 가공한 (주)제일제당의 제품을 사용하였다. 밀가루 100 kg(건조중량)에 소금(밀가루 고형분 기준 3%)과 물(밀가루 고형분 기준 40%)을 첨가하여 혼합기에서 10분간 혼합하여 반죽을 만든 다음, 5단의 연속 롤에 의하여 면대를 형성하고 이를 slitter와 cutter에 통과시키면서 면발을 형성시켰다. 이때 롤의 간격은 3.7→3.4→3.0→2.6→2.3 mm로 단계적으로 감소시켰으며 slitter의 간격은 2.3 mm로, 면의 길이는 30 cm로 조정하였다. 제조된 면발을 끓는 물에 3분간 삶아 20℃의 냉각조에서 1분간 냉각한 다음 탈수하여 poly ethylene 재질의 포장지에 220 g씩 진공포장 하였다. 이 때, 냉각조에 젖산(0.1%, w/w)을 첨가하여 냉각시킨 제품을 산처리구로, 그렇지 않은 제품을 무처리구로 분리하였으며, 젖산을 처리한 포장제품을 끓는 물에 10분간 살균한 제품을 전체의 대조구로 하였다. 산처리구와 무처리구 제품은 한국원자력연구소의 선원 100,000 Ci, Co-60 감마선 조사시설(AECL, IR-79, Canada)을 이용하여, 실온에서 분당 70 Gy의 선량율로 5 kGy와 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 감마선을 조사하였다. 감마선을 조사한 시료는 감마선 비조사 시료, 대조 시료와 함께(Table 1) 25℃에서 6주간 저장하면서 1주 간격으로 분석하였다.

미생물 검사

미생물 검사를 위한 시료는 면 10 g에 멸균 식염수(NaCl, 3%) 90 ml를 가하여 mixer(Hanil, FM 680T, Korea)에 60초간 마쇄하고 4℃에서 30분간 교반하여 제조하였다. 제조된 시험액을 연속 희석하여 nutrient agar (Difco)와 lactic acid (2.5 mL/L) 및 chloramphenicol (100 mg/L)을 첨가한 potato dextrose agar(Difco) 배지에 각각 1 ml씩 pour plating하고, 25℃에서 3일간 배양하여 생성된 colony의 수를 colony counter(IPI Inc., Microcount 1008, U.S.A.)로 계수하였다. 이때, nutrient agar 배지에서 생장한 미생물을 일반 호기성 세균으로 potato dextrose agar 배지에서 생장한 미생물을 곰팡이로 구분하였다.

Table 1. Combinations of sample preparations

Sample No.	Treatment		
	Lactic acid[1)]	Heating[2)]	Gamma radiation(kGy)
1	×[3)]	×	0
2	×	×	5
3	×	×	10
4	○	×	0
5	○	×	5
6	○	×	10
7	○	○	0

[1)] Rinsed a noodle with 0.1% lactic acid solution for 1 minute
[2)] Each packaged noodle was sunk in a 95℃ water bath for 10 minutes
[3)] ×; not treated, ○; treated

수분활성도 및 pH

pH 측정을 위한 시료는 미생물 검사용으로 제조한 시료를 여과(Whatman Paper No. 2)하여 그 여과액을 사용하였으며 수분활성은 A.O.A.C.법에[9)] 준하여 측정하였다.

숙면의 기계적 조직감 측정

숙면 100 g을 끓는 물 200 ml에 넣어 1분 동안 삶고 3분간 체(Sieve No. 50)에 받쳐 물기를 제거한 후 Texture Analyzer (TA. XT2*i*, SMS Co. LTD., England)를 이용하여 기계적 물성치를 측정하였다. 시료는 한 가닥의 면발을 5 cm 단위로 절단하여 각 시험구별로 10회 반복 측정하였다. 물성의 측정조건은 원통형 probe를 이용하여 pre-test speed 1.5 mm/sec, test speed 2.0 mm/sec, post-test 2.0 mm/sec의 조건에서 50%의 변형률로 압착하였고 force-time curve의 양(+)의 영역에서 얻어지는 최대 힘을 견고성(hardness)로, 음(−)의 영역에서 얻어지는 최대 힘을 부착성(stickiness)으로 나타내었다.

결과 및 고찰

미생물의 변화

감마선을 조사한 숙면과 대조구 시료의 보존 기간 중 일반 호기성 세균의 생장변화를 Fig. 1에 나타내었다. 보존 초기의 일반 호기성 세균은 감마선 비조사구의 경우, 증숙 후 일반 냉각수로 냉각한 시료(No. 1)에서는 7.8×10^6 cells/g, 냉각시 젖산을 첨가하여 산처리를 한 시료(No. 4)에서는 6.4×10^5 cells/g, 그리고 산처리와 함께 포장후 열살균을 실시한 시료(No. 7)에서는 3.4×10^3 cells/g 수준으로 검출되어 숙면의 제조 과정에서 이미 상당 수준의 미생물 오염이 진행되며 산처리는 약 1 log cycle, 가열살균은 약 2~3 log cycle의 일반세균 감소 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 감마선 조사에 의한 일반 호기성 세균의 감소는 산처리를 하지 않은 시료의 경우 비조사구(No. 1)에서 7.8×10^6 cells/g이었던 것이 5 kGy 조사 시료(No. 2)에서 2.1×10^4 cells/g으로, 10 kGy 조사 시료(No.3)에서 4.2×10^2

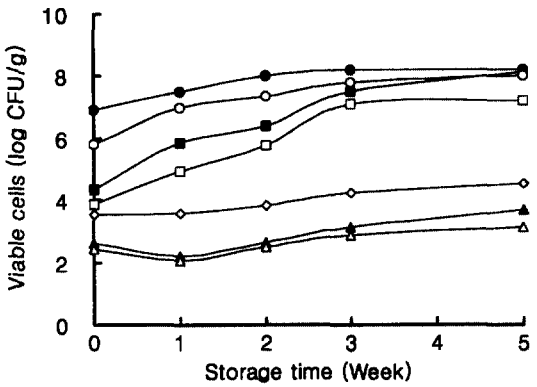

Fig. 1. Changes of the aerobic bacterial cells in gamma irradiated half-cooked noodle during storage at 25°C.
Specifications of the each number of sample were listed at Table 1. ●: No. 1, ■: No. 2, ▲: No. 3, ○: No. 4, □: No. 5, △: No. 6, ◇: No. 7

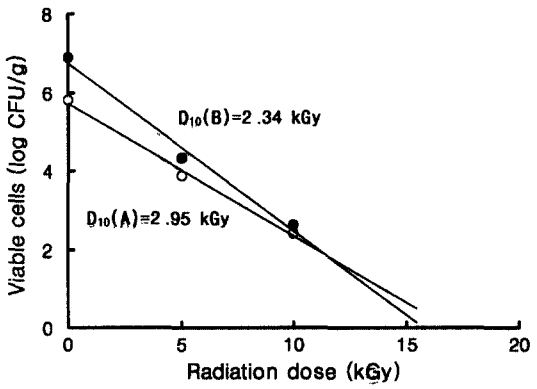

Fig. 2. Effect of gamma irradiation on viability of the aerobic bacterial cells in gamma irradiated half-cooked noodle
○ (A): rinsed with 0.1% lactic acid solution for 1 minute, ● (B): not treated by lactic acid

cells/g으로 낮아졌으며 산처리 시료는 비조사구에서 6.4×10^5 cells/g이었던 것이 5 kGy 조사 시료(No. 5)에서 7.5×10^3 cells/g으로, 10 kGy 조사 시료(No. 6)에서 2.6×10^2 cells/g으로 낮아졌다. 한편, 감마선 조사에 의한 일반 호기성 세균의 D_{10}값은 산처리구와 비처리구에서 각각 2.95 kGy와 2.34 kGy로 계산되어(Fig. 2) 산처리구의 미생물이 비처리구에 비하여 감마선에 대한 저항성이 높았다. 이러한 결과는 비처리구에서 10^6 cells/g 이었던 호기성 세균이 산처리에 의하여 10^5 cells/g으로 감소하면서 수반되는 microflora의 변화가 주요 요인일 것으로 해석되었으며 다른 한편으로는, 미생물이 서식하고 있는 주변 환경의 수분

Table 2. Changes of Aw and pH in gamma irradiated half-cooked noodles during 5 weeks storage at 25°C.

	Sample No.[1]	Storage Time (Week)				
		0	1	2	3	5
Aw	1	0.926	0.987	-[2]	-	-
	2	0.933	0.965	0.983	0.997	-
	3	0.929	0.954	0.980	0.989	0.992
	4	0.884	0.965	0.974	-	-
	5	0.892	0.928	0.971	0.991	-
	6	0.876	0.930	0.973	0.987	0.992
	7	0.842	0.924	0.975	0.987	0.991
pH	1	6.44	6.13	-	-	-
	2	6.46	6.38	6.20	5.91	-
	3	6.55	6.51	6.26	6.14	6.11
	4	3.75	3.83	3.77	-	-
	5	3.73	3.76	3.85	3.70	-
	6	3.88	3.85	3.86	3.85	3.82
	7	4.22	4.11	4.03	4.01	3.94

[1] See Table 1
[2] Sample was putrefied and not determined

활성이 낮을수록, 서식환경의 화학적 조성이 복잡할수록 미생물의 방사선에 대한 저항성이 커진다는 보고[10,11]에 비추어 보아 산처리에 의한 초기의 수분활성 감소(Table 2)와 pH의 변화 등도 영향이 있는 것으로 보여진다. 한편, 일반적인 미생물의 영양세포는 0.5 kGy 이하의 D_{10}값을 갖는다는 보고[12,13]와 비교하면 본 연구에서 조사된 숙면의 microflora는 상대적으로 D_{10}값이 높아 방사선 저항성이 큰 endospore생성 세균[14]이나 방사선 저항 균주[15]가 숙면의 주요 microflora를 이루고 있을 것으로 생각된다.

감마선을 조사한 숙면의 보존 중 일반세균의 생장변화도 산처리 여부와 조사선량에 따라 유의적인 차이를 나타내었다(Fig. 1). 비조사구에서는 보존 초기 10^5~10^6 cells/g이었던 것이 보존 1주 이내에 관능적으로 부패를 감지할 수 있는 10^7 cells/g 까지 증식하였고 5 kGy 감마선 조사구에서는 보존 초기 10^3~10^4 cells/g에서 3주 후 10^7 cells/g 까지 증식하였다. 10 kGy 감마선 조사구는 보존초기 10^2 cells/g이었던 호기성 세균수가 보존 1주 째에 감소하였다가 보존 기간에 따라 약간씩 증가하였으나 그 증가율은 산처리구와 비처리구간에 차이가 있어 보존 5주 후에는 비처리구의 호기성 세균수가 산처리구에 비하여 1 log cycle 정도 높은 수준을 보였다. 10 kGy의 감마선 조사구에서 보존 1~2주 후 세균이 감소한 것은 감마선 조사에 의해 손상을 받은 생존세포의 일부가 시간의 경과에 따라 사멸되는 post-irradiation effect[16]에 의한 것으로 판단되었다. 일반적인 숙면의 제조공정에 따라 산처리와 열살균을 실시한 시료(No. 7)는 보존 2주까지는 초기의 세균 수를 보이다가

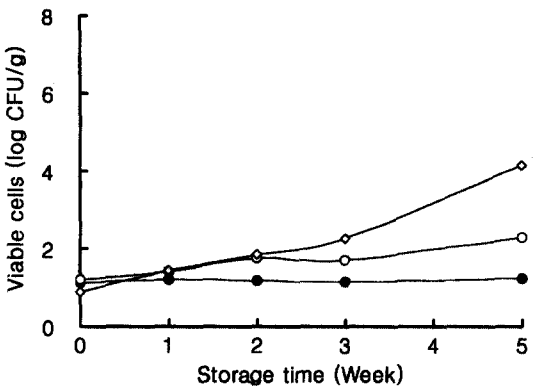

Fig. 3. Changes of the fungal cells in gamma irradiated half-cooked noodle during storage at 25°C.
Specifications of the each number of sample were listed at Table 1. ●: No. 1, ○: No. 4, ◇: No. 7

보존 3주째부터 증가하여 4주째에는 변패의 소견을 보였다. 일반 호기성 세균의 서식밀도를 기준으로 볼 때, 숙면의 보존가능 한계점은 박 등[3]의 보고와 비슷한 수준인 10^6 cells/g의 세균이 증식하는 시점으로 보여졌으며 따라서 감마선 조사를 실시할 경우 유의적인 보존성의 확보를 위해서는 10 kGy의 조사선량이 필요할 것으로 사료된다.

감마선을 조사한 숙면의 보존 중 곰팡이의 생장변화도 감마선 조사 및 산처리 여부에 따라 유의적인 차이를 보여주었다(Fig. 3). 감마선 조사구에서는 보존초기 및 보존기간의 경과에도 곰팡이가 검출되지 않았으나 비조사구에서는 보존초기에 10^1 cells/g 수준의 곰팡이가 검출되었다. 한편 보존 기간 중의 곰팡이 생장은 산처리구와 비처리구간에 유의적인 차이를 나타내어 산처리구에서는 10^4 cells/g까지도 생장하였으나 비처리구에서는 초기수준 이상의 곰팡이 생장은 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 산처리를 하지 않은 시료에서는 초기에 세균이 생장하여 곰팡이의 생장을 경쟁적으로 저해하고 산처리구에서는 낮은 pH로 인하여 세균의 생장은 억제되는 대신에 곰팡이의 생장이 유도되는 때문인 것으로 해석되었다.

수분활성 및 pH의 변화

숙면의 보존 중 수분활성의 변화를 살펴보았다(Table 2). 보존 초기의 수분활성도는 산처리를 하지 않은 시료의 경우 0.926~0.933의 범위였고 산처리를 한 시료는 0.876~0.892, 그리고 산처리와 함께 열살균을 실시한 시료(No. 7)는 0.842로 나타나 산처리를 한 시료의 수분활성도가 상대적으로 낮음을 알 수 있었다. 한편, 보존기간 중의 수분활성도 변화는 감마선 조사구가 비조사구에 비하여 보존 1주까지는 유의적으로 낮은 수준은 유지하였으나 보존 2주부터는 각 시료간에 유의적인 차이 없이 모든 시료에서 0.98~0.99 수준까지 증가하였다. 숙면의 pH 변화도 산처리 및 감마선 조사 여부에 따라 서로 다른 양상을 나타내었다(Table 2). 산처리구의 경우 보존 초기의 pH는 3.73~3.88의 범위였으나 비처리구는 6.44~6.55의 범위였고 산처리와 열처리를 실시한 시료는 4.22의 pH를 보였다. 보존기간 중의 pH 변화는 산처리구에서는 유의성 있는 변화가 관찰되지 않았으나 비처리구에서는 점차 낮아지는 경향이었고 감마선 조사는 pH의 강하를 지연시키는 효과가 있었다.

Table 3. Changes of hardness and stickiness in gamma irradiated half-cooked noodles during 5 weeks storage at 25°C

Sample No.[1]	Texture parameter	Storage Time (Week)			
		0	1	3	5
1	Hardness	499.3±150.3	457.4± 37.9	-[2]	-
2		486.7±213.5	512.3± 33.9	647.1± 74.8	-
3		385.6±227.1	488.1±160.9	521.9±148.1	543.6±115.4
4		622.9± 91.6	612.8± 80.4	-	-
5		663.0±183.1	648.8±186.2	627.4± 87.1	-
6		688.8±130.9	649.3± 60.3	657.7±205.1	606.2±142.4
7		527.5±117.2	471.5±137.1	515.0± 69.1	523.5±108.6
1	Stickiness	−13.41±3.80	−11.34±2.36	-	-
2		−9.29±1.55	−9.18±0.80	−11.92±0.85	-
3		−9.18±1.22	−10.52±1.12	−11.06±1.99	−11.32±1.47
4		−15.74±2.51	−9.22±0.81	-	-
5		−9.37±1.19	−9.84±3.60	−8.12±0.37	-
6		−9.74±1.96	−9.05±1.58	−8.79±1.22	−8.55±1.06
7		−10.84±3.31	−10.02±2.87	−10.76±0.65	−9.93±1.38

[1] See Table 1
[2] Sample was putrefied and not determined

기계적 조직감의 변화

숙면의 기계적 물성치인 hardness와 stickiness를 측정하여 Table 3에 나타내었다. 보존초기의 면의 물성은 산처리에 의하여 hardness와 stickiness가 높아졌으며 감마선 조사는 hardness에는 영향을 주지 않았으나 stickiness를 낮추는 효과가 관찰되었다. 보존기간의 경과에 따른 물성의 변화를 살펴보면 산처리구의 경우 hardness의 변화는 없었으나 stickiness는 점차 낮아졌으며 비처리구에서는 감마선을 조사한 시료(No. 2, No. 3)에서 보존기간의 경과에 따라 hardness와 stickiness 값이 점차 높아지는 양상을 보여주었다. 따라서 장기보존 제품의 경우, 감마선을 조사한 제품이 산처리와 열살균을 병행한 일반 제품에 비하여 조리시의 물성이 개선될 것으로 기대되었다.

감사의 말씀

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

국문요약

숙면에 감마선을 조사하여 상온에 보관하면서 보존기간중의 미생물 및 일반 품질특성 변화를 조사하였다. 숙면의 곰팡이는 5 kGy의 감마선 조사에 의하여 완전 사멸되었으며 일반세균은 5 kGy에서 2 log cycle, 10 kGy에서 4 log cycle 수준으로 감소하였고 10 kGy에서 안정적으로 미생물의 생장이 억제되었다. 숙면의 pH는 보존기간을 통하여 점차 낮아졌으나 감마선을 조사한 시료는 pH의 강하가 지연되었고 수분활성도는 보존기간을 통하여 증가하였으나 감마선 조사에 의한 각 시료간의 차이는 없었다. 기계적 물성 측정결과, 감마선 조사는 보존초기에는 면의 stickiness를 낮추었으나 보존기간의 경과에 따라 오히려 대조구에 비하여 stickiness가 높아졌다.

참고문헌

1. 식품의약품안전청: 식품공전, (주)문영사 (1999).
2. 통계청: 식품연감 (1999).
3. 박현정, 유인실, 김성곤, 이영수, 김영배: 세균수에 의한 국수의 저장성 예측. 한국식품과학회지, **26**, 557-560 (1994).
4. Byun, M.W.: Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci. Ind.*, **30**, 89-100 (1997)
5. Thayer, D.W.: Food irradiation, Benefits and concerns. *J. of Food Quality*, **13**, 147-169 (1990).
6. Muramatsu, N., Ohinata, H., Ohara, T., Ohike, T. and Ito, H.: Use of gamma irradiation for microbial inactivation of buckwheat flour and buckwheat food products(Part 4). Preservation of buckwheat noodles prepared by irradiated buckwheat flour and direct-irradiated buckwheat noodles. *J. Food Rad* (Japan)., **23**, 4-10 (1988).
7. Ohinata, H., Muramatsu, N., Ohara, T., Ohike, T. and Ito, H.: Use of gamma irradiation for microbial inactivation of buckwheat flour and buckwheat food products(Part 5). Studies on physical properties and texture of irradiated fresh-style 'Soba' noodle and on 'Soba' noodle processing property of irradiated buckwheat flour. *J. Food Rad*(Japan)., **23**, 11-20 (1988).
8. Muramatsu, N., Karasawa, H., Ohinata, H., Ito, H., Isigaki, I., Ohara, T. and Ohike, T.: Use of gamma irradiation for microbial inactivation of buckwheat flour and buckwheat food products(Part 7). Effects of water activity and storage temperature on the shelf-life of buckwheat noodles. *J. Food Rad*(Japan)., **25**, 53-61 (1990).
9. A.O.A.C. Official method of analysis. 15th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., USA (1990).
10. Ma, K. and Maxcy, R.B.: Factors influencing radiation resistance of vegetave bacteria and spores associated with radappertization of meat. *J. Food Sci.* **46**, 612-616 (1981).
11. 변명우, 김동호, 육홍선, 안현주: 식품미생물의 방사선 살균. 식품과학과 산업, **33**, 58-70 (2000).
12. Grant, I.R. and Patterson, M.F.: Sensitivity of foodborne pathogens to irradiation in the components of a chilled ready meal. *Food Microbiol.*, **9**, 95-103 (1992).
13. Thayer, D.W.: Use of irradiation to kill enteric pathogens on meat and poultry. *J. Food Safety*, **15**, 81-192 (1995).
14. 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).
15. Hastings, J.W., Holzapfel, W.H. and Niemand, J.G.:

Radiation resistance of lactobacilli isolated from radurized meat ralative to growth and environment. *Appl. Environ. Microbiol.*, **52**, 898-901 (1986).

16. 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)