

감마선 조사와 아스코르브산 첨가가 소시지의 발암성 N-Nitrosamine 파괴 및 생성억제에 미치는 영향

안현주 · 김재현 · 조철훈 · 권종숙 · 송현파 · 김희연* · 변명우[†]

한국원자력연구소 방사선식품 · 생명공학기술개발팀
*식품의약품안전청 식품첨가물과

Effects of Gamma Irradiation and Ascorbic Acid on Reducing N-Nitrosamines in Pork Sausage

Hyun-Joo Ahn, Jae-Hyun Kim, Cheorun Jo, Jong-Suk Kwon, Hyun-Pa Song,
Hee-Yun Kim* and Myung-Woo Byun[†]

Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute,
Daejeon 305-353, Korea

*Division of Food Additives, Korea Food and Drug Administration, Seoul 122-704, Korea

Abstract

Gamma irradiation was used to reduce the N-nitrosamines in emulsion-type cooked pork sausage during storage at 4°C. The sausage without ascorbate to maximize the N-nitrosamine formation and the sausage with 200 ppm sodium ascorbate were prepared, respectively. The sausages were aerobically or vacuum packaged and irradiated at 0, 5, 10 and 20 kGy. A statistically significant difference was not shown in N-nitrosodimethylamine (NDMA) and N-nitrosopyrrolidine (NPYR) levels in the sausage prepared with sodium ascorbate at 0 week, while the NDMA and NPYR reduction was observed after 4 weeks storage. The NDMA level in the sausage without sodium ascorbate and irradiated at 10 kGy or above reduced in aerobic packaging, while a dose of 20 kGy was needed in vacuum packaging. The N-nitrosopyrrolidine reduction was shown at 20 and 30 kGy-irradiation. The results indicated that gamma irradiation was effective to reduce N-nitrosamines level in sausage during storage.

Key words: sausage, gamma irradiation, ascorbic acid, volatile N-nitrosamines

서 론

육가공 제품의 첨가제로 사용되는 아질산염은 특유의 염지색 발현, 향미 및 물성 부여, 산패억제와 *Clostridium botulinum* 등의 유해 미생물에 대한 저해효과를 나타낸다(1). 최근 육제품에 잔존하는 아질산염이 자체 독성으로 소화암을 유발한다는 문제점이 다시 제기되고 있으며(2), 또한 2차적으로 가공 및 저장단계에서 발암성 N-nitrosamine의 전구물질로 작용하기 때문에 그 사용량이 제한되어 왔다(3). 화학적으로 아질산염은 N-nitrosamine 생성 반응에 직접 작용하지 않고 산성조건에서 여러 반응을 거쳐서 활성화된 dinitrogen trioxide 및 dinitrogen tetraoxide로 전환될 때 2급 amine과 반응하여 N-nitrosamine을 형성하게 된다(3). 휘발성 N-nitrosamine은 종류와 함량에 따라 혀, 식도, 간, 폐, 신장, 방광 및 췌장 등의 신체기관에 암을 유발하는 것으로 보고되고 있다(4-6). N-nitrosamine의 체내 발암기작은 소포체에서 cytochrome p-450 효소에 의해 대사 활성화되어

여러 단계를 거쳐 alkyldiazohydroxide 및 diazoalkane 등으로 분해되어 DNA의 염기서열을 치환시키면서 시작된다(7).

육가공 제품의 휘발성 N-nitrosamine에 대한 문제는 소비가 많은 미국 및 유럽에서 이미 1970년대에 심각하게 제기되었으며(8), 국내에서도 육제품 소비시장이 확대되면서 그 문제점이 지적되고 있는 실정이다. 현재까지 N-nitrosamine 생성억제에 관한 연구는 ascorbic acid 및 tocopherol 등의 산화환원 화합물(redox compound)(9-11) 또는 polyphenol류 등(12,13)을 첨가하여 아질산염을 nitric oxide 형태로 환원시켜 N-nitrosamine의 형성반응을 제어하는 방향으로 진행되고 있다. 이와 같이 N-nitrosamine 생성의 전구체로 작용하는 아질산염을 소거하고자 하는 연구는 많이 보고되고 있지만, 식품의 가공단계나 저장 중에 이미 생성된 N-nitrosamine을 감소 혹은 제거하는 연구는 아직까지 뚜렷한 성과를 찾아보기 힘든 실정이다.

한편 방사선 조사식품의 건전성 및 안전성이 과학적으로 입증되면서 세계적으로 그 이용범위가 확대되고 있는데(14),

[†]Corresponding author. E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr
Phone: 82-42-868-8060, Fax: 82-42-868-8043

Wierbicki와 Brynjolfsson(15)은 방사선 조사에 의해 살균처리된 염지 육가공 제품 중의 N-nitrosamine 함량이 감소하였다고 보고하여 방사선 조사기술을 이용하여 화학적 독성물질 제거에 대한 가능성을 제시한 바 있다. 이것은 N-nitrosamine의 화학적 photolysis 특성(16,17)을 고려할 때 매우 흥미로운 연구결과라고 할 수 있다. 하지만 이후 관련 연구가 매우 미약하므로 앞으로 방사선 조사에 의한 N-nitrosamine의 분해 메커니즘, 조사 분해산물의 동정 및 식품과 산업계의 적용 방안 등에 대한 심도있는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 전보(18)에 이어 방사선 조사에 의한 실제 식품에서의 발암성 N-nitrosamine의 파괴 및 생성억제 여부를 관찰하고자, 유화형 소시지를 환원제의 첨가유무에 따른 두가지 형태로 제조하여 감마선 조사시킨 후 저장기간 중의 N-nitrosamine 감소 여부를 조사하였다.

재료 및 방법

유화형 소시지의 제조

유화형 소시지는 N-nitrosamine 형성 저해제로 사용되는 환원제인 아스코르브산을 첨가하여 제조한 소시지와 N-nitrosamine 생성을 극대화하기 위해서 아스코르브산을 첨가하지 않은 모델시스템 소시지로 각각 나누어 제조하였다. 돈육(60%)을 사일런트커터(Silent cutter, C-75, Fatos, Barcelona, Spain)에 넣고 낮은 속도로 혼합하면서 정제염(1.5%)과 인산염(trisodium phosphate, 0.3%)을 첨가하고 1분간 혼합세절한 다음 준비된 얼음(20%)의 1/2을 첨가하고 고속으로 세절을 실시하였다. 사일런트커터의 온도가 1~2°C에 도달했을 때 분쇄한 돼지 등지방(pork backfat, 20%)을 첨가하여 계속 세절하면서 설향(0.6%), monosodium glutamate(MSG, 0.03%), 복합향신료(spicemix, 0.5%), 아질산염(sodium nitrite, 150 ppm) 및 sodium ascorbate(0, 200 ppm)를 첨가하고 사일런트커터 내부의 온도가 13°C에 도달했을 때 유화를 종결시켰으며, 총 소요시간은 약 10분 정도이고 작업장의 온도는 12°C였다. 이때 아질산염과 sodium ascorbate의 첨가량은 돈육, 등지방에 대한 비율로써 각각 첨가하였다. 고기 유화물을 콜라겐 케이싱(collagen casing, 2.5 cm diameter, Woosung Co., Seoul, Korea)에 충전한 후 45°C에서 30분간 건조시키고, 55°C에서 40분간 훈연한 후 중심온도가 70°C가 되도록 훈연실(Fracomat 1200, Franke Gm bH & Co., Germany)에서 가열처리(약 1시간)하였다. 가열처리가 끝난 제품은 찬물로 분부하여 냉각시키면서 표면의 수분을 건조시킨 후, 포장기(Leepack, Hanguk Electronic, Kyunggi, Korea)를 이용하여 nylon bag(2 mL O₂/m²/24 hr at 0°C; 20 cm×30 cm; Sunkyung Co. Ltd., Korea)에 진공포장 및 합기포장하여 방사선 조사 전까지 4°C에 보관하였다.

감마선 조사

방사선 조사는 한국원자력연구소 내 선원 10만 Ci, Co-60

감마선 조사시설을 이용하여 실온(14±1°C)에서 분당 83.3 Gy의 선량율로 각각 0, 5, 10 및 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter (Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다. 방사선 조사 후 소시지를 4°C에 저장하면서 실험에 사용하였다.

N-Nitrosamine의 추출 및 함량분석

소시지의 N-nitrosamine 추출은 Raoul 등(19)의 방법을 변형한 신속액상추출법으로 Extrelut[®] NT3 column(pre-packed glass column, Merck, Darmstadt, Germany)을 Extrelut[®] 충진물(Merck)로 채우고, 소시지의 액상추출물을 column에 통과시킨 후 dichloromethane을 연속으로 흘려보내 분획물을 취하여 감압증류 후 정용하여 분석에 사용하였다. 추출과정에서 N-nitrosodipropylamine(100 ppb)을 내부표준물질로 첨가하였으며, 평균 91.2±7.05%의 수율을 보였다.

방사선 조사 후 저장기간에 따른 소시지의 N-nitrosamine의 정량은 gas chromatograph(GC, Model 5890II, Hewlett-Packard Co., Wilmington, DE, USA) 및 화학발광 검출기인 thermal energy analyzer(TEA, Thermo Electron Model 502B, Waltham, MA, USA)를 이용하였다. GC의 분석조건은 오븐온도를 50°C에서 5분간 유지한 후 5°C/min의 속도로 200°C까지 승온시켰고, 운반기체로는 helium을 사용하여 3.5 mL/min의 압력으로 조절하였다. 주입구의 온도는 200°C로 고정된 후 2.0 µL씩 주입하여 비극성 SPB-5 용융 실리카 모세관 컬럼(non-polar SPB-5 fused silica capillary column, 30 m×0.53 mm I.D., Supelco Co., Bellefonte, PA, USA)으로 분리하였다. 이때 TEA의 조건은 열분해관(ceramic tube, 465 mm×6.25 mm×1.5 mm) 온도를 475°C로 고정하고, GC-TEA의 interface 온도는 275°C, cold trap은 액체질소와 에탄올을 슬러지 상태로 혼합하여 -125~-95°C로 유지시켰다. 모든 과정을 3회 반복하여 측정하였다.

통계 분석

저장기간에 따른 소시지의 N-nitrosamine 함량은 statistical analysis system(Version 5 edition)(20)을 이용하여 ANOVA 분석 후 Duncan's multiple range test로 5%에서의 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

N-Nitrosamine의 함량

소시지에서 검출된 휘발성 N-nitrosamine은 N-nitrosodimethylamine(NDMA) 및 N-nitrosopyrrolidine(NPYR)의 두 종류로서, 저장기간에 따른 함량변화는 각각 Table 1, 2와 같다.

감마선 조사 직후 아스코르브산 첨가 및 비첨가 소시지의 NDMA 함량은 큰 차이를 보였는데, 아스코르브산 첨가구의 경우 5 ppb이하로 검출되었으며 감마선 조사 및 포장방법에

Table 1. N-nitrosodimethylamine (NDMA) level in emulsion-type cooked pork sausage prepared with ascorbate or none in different packaging and irradiation dose during storage at 4°C^{1),2)}
(unit: ppb)

Storage periods (week)	Sample	Irradiation dose (kGy)				
		0	5	10	20	SEM ³⁾
0	Ascorbate ⁵⁾					
	Aerobic	5.0	3.6	3.1	1.4	1.35
	Vacuum	4.6	3.6	2.6	1.9	1.03
	SEM ⁴⁾	1.45	0.80	1.25	1.21	
	None					
	Aerobic	198.8 ^a	46.0 ^b	39.7 ^b	ND ^{6)b}	32.06
Vacuum	167.6 ^a	49.3 ^b	56.3 ^b	37.2 ^b	17.27	
SEM ⁴⁾	36.45	32.23	26.65	7.04		
4	Ascorbate					
	Aerobic	16.4	11.1	7.9	4.7	8.97
	Vacuum	11.6 ^a	11.2 ^a	5.2 ^b	ND ^b	2.83
	SEM ⁴⁾	9.60	7.92	6.74	3.33	
	None					
	Aerobic	541.8 ^a	443.8 ^{av}	336.8 ^b	324.6 ^b	31.71
Vacuum	559.4 ^{ab}	612.2 ^{ax}	480.6 ^{abc}	315.1 ^c	61.51	
SEM ⁴⁾	50.51	24.12	54.65	19.83		

¹⁾Different letters (a-c) within a same row differ significantly (p<0.05).
²⁾Different letters (x, y) within a same column differ significantly (p<0.05).
³⁾SEM: Standard errors of the mean (n=8).
⁴⁾SEM: Standard errors of the mean (n=4).
⁵⁾The sausage was formulated with 150 ppm sodium ascorbate or none, as a reducing agent.
⁶⁾Not detected.

다른 유의적인 차이를 나타내지 않았다(p<0.05). N-nitrosamine 형성을 최대화하기 위해서 아스코르브산을 첨가하지 않은 모델시스템 소시지의 NDMA 함량은 첨가구에 비해 20~50배까지 증가하였다. N-nitrosamine 형성 저해제로 사용되는 아스코르브산과 관련하여 Kim 등(21)은 새우젓에 아질산염을 첨가하였을 경우 13,000 ppb의 NDMA가 검출되었지만, 아질산염과 아스코르브산을 함께 첨가시에는 129 ppb로 감소하였다고 보고하였다. 아질산염과 아스코르브산은 1:2의 몰비율로 첨가될 때 N-nitrosamine 형성을 90% 이상 억제할 수 있는 것으로 나타나고 있다(3). 한편 감마선 조사구의 NDMA 함량은 비조사구와 비교할 때 유의적인 감소를 보였는데, 포장방법에 따른 함량 차이는 나타나지 않았다. 합기포장 및 진공포장구 모두 5 kGy 이상의 선량으로 감마선 조사시 비조사구에 비해 NDMA 함량을 약 70~100%까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

저장 4주 후 소시지의 NDMA 함량은 증가하는 경향을 보였는데, 아스코르브산 첨가구의 경우 합기포장시 감마선 조사에 의해 유의적인 차이를 보이지 않았지만(p<0.05), 아스코르브산을 첨가한 소시지의 진공포장구의 NDMA 함량은 10 kGy 이상의 감마선 조사시 대조구에 비해 유의적으로 낮은 함량을 보였으며, 20 kGy의 선량에서는 검출되지 않았다.

Table 2. N-nitrosopyrrolidine (NPYR) level in emulsion-type cooked pork sausage prepared with ascorbate or none in different packaging and irradiation dose during storage at 4°C¹⁾
(unit: ppb)

Storage periods (week)	Sample	Irradiation dose (kGy)				
		0	5	10	20	SEM ²⁾
0	Ascorbate ⁴⁾					
	Aerobic	2.9	ND ⁵⁾	ND	ND	0.78
	Vacuum	1.6	ND	ND	ND	0.53
	SEM ³⁾	1.14	-	-	-	
	None					
	Aerobic	28.8 ^{ab}	49.4 ^a	10.5 ^b	ND ^b	12.67
Vacuum	34.2 ^a	10.7 ^b	ND ^b	ND ^b	5.27	
SEM ³⁾	17.67	10.67	7.42	-		
4	Ascorbate					
	Aerobic	24.9 ^a	3.3 ^b	ND ^b	ND ^b	2.81
	Vacuum	12.7 ^a	12.1 ^a	3.1 ^b	ND ^b	2.22
	SEM ³⁾	3.50	2.94	2.17	-	
	None					
	Aerobic	283.1	182.1	258.5	246.4	55.46
Vacuum	466.3 ^a	428.6 ^a	337.9 ^{ab}	228.7 ^b	45.76	
SEM ³⁾	53.94	82.78	32.01	18.20		

¹⁾Different letters (a, b) within a same row differ significantly (p<0.05).
²⁾SEM: Standard errors of the mean (n=8).
³⁾SEM: Standard errors of the mean (n=4).
⁴⁾The sausage was formulated with 150 ppm sodium ascorbate or none, as a reducing agent.
⁵⁾Not detected.

아스코르브산을 첨가하지 않은 모델시스템 소시지의 저장 4주째 NDMA 함량은 감마선 조사에 의해 감소하는 것으로 나타났는데, 합기포장구는 10 kGy 이상의 선량에서 진공포장구는 20 kGy의 선량에서 유의적인 감소를 보였다.

제조 직후 소시지의 NPYR 함량은 아스코르브산 첨가구가 0~2.9 ppb로 낮은 함량을 보였는데, 감마선 조사구의 경우 NPYR이 검출되지 않았다(Table 2). 또한 아스코르브산을 첨가하지 않았을 때 NPYR은 약 10배까지 증가하였다. 아스코르브산을 첨가하지 않은 소시지의 NPYR은 합기포장시 10 kGy 이상의 선량에서, 진공포장시 5 kGy 이상의 선량에서 유의적으로 감소하였으며, 20 kGy의 조사구에서는 검출되지 않는 것으로 나타났다.

저장 4주째의 NPYR 함량은 증가하였는데, 아스코르브산 첨가구의 NPYR은 합기포장 및 진공포장구 모두 감마선 조사에 의한 영향으로 비조사구에 비해 낮은 함량을 나타내었다. 합기포장구의 경우 10~20 kGy의 조사구는 NPYR이 검출되지 않았으며, 진공포장한 소시지의 NPYR 함량은 10 kGy 이상의 조사구에서 유의적으로 낮은 값을 보였다. 아스코르브산을 첨가하지 않은 모델시스템 소시지의 경우 진공포장구에서 감마선 조사선량에 의한 유의적인 차이를 보였다.

Cassens(8)의 보고에 의하면 현재 미국 육가공 제품의 N-nitrosamine 함량은 10 ppb 이하 혹은 전혀 검출되지 않는 추세이며 이는 N-nitrosamine 문제가 심각하게 제기되었던

1970년대보다 1/5~1/10 정도 감소한 것으로써, 아스코르브산의 최대 허용량(550 ppm) 첨가 및 육제품의 가공공정 개선에 의한 현상으로 판단되고 있다. 한편 Park 등(22)은 국내 시판 돈육 소시지의 NDMA 함량을 조사한 결과, 0.5~36.8 ppb 수준으로 그 함량이 비교적 높아 육제품의 화학적 독성 물질에 대한 안전성 측면을 제시한 바 있다.

Wierbicki와 Brynjolfsson(15)이 방사선 조사에 의해 살균 처리된 베이컨 중의 이미 생성된 N-nitrosamine 함량이 감소하였다고 보고한 이래로, Fiddler 등(23)은 30 kGy의 감마선 조사시 베이컨의 NDMA 및 NPYR이 완전히 제거될 수 있다고 보고한 바 있었는데, 아직까지 방사선 조사에 의한 N-nitrosamine의 파괴 메카니즘은 보고된 바가 없다. 저자 등(18)은 휘발성 N-nitrosamine의 화학적 안정성을 부여하는 용매 시스템에서 감마선을 조사한 결과, 5 kGy의 선량에서 NDMA 및 NPYR이 90~100% 파괴되며 파괴된 화합물의 나이트로산화반응(nitrosation)에서 N-nitrosamine의 재축합이 일어나지 않는 것을 보고한 바 있다.

이상의 결과를 볼 때 육제품에 아스코르브산을 첨가할 때 N-nitrosamine의 형성을 억제할 수 있지만, 감마선을 적용할 경우 N-nitrosamine의 감소 및 제거에 더욱 큰 효과를 가져올 것으로 기대된다. 따라서 감마선 조사기술은 식품의 미생물학적 안전성 뿐만 아니라 화학적 유해요소에 대한 안전성 또한 보장해줄 것으로 사료된다.

요 약

유화형 소시지의 휘발성 N-nitrosamine생성에 대한 감마선 조사, 환원제 첨가 및 포장방법에 따른 영향을 저장기간에 따라 조사하였다. 소시지는 아스코르브산을 첨가하거나 혹은 N-nitrosamine 생성을 최소화하기 위해 첨가하지 않은 모델시스템 소시지를 제조하여 합기포장 및 진공포장을 한 후, 0, 5, 10 및 20 kGy의 선량으로 감마선 조사하였다. 아스코르브산 첨가구는 제조 직후 감마선 조사에 의한 NDMA 및 NPYR 함량의 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 저장 4주째에는 조사구의 함량이 유의적으로 감소하였다. 아스코르브산 비첨가구의 경우 제조 직후 NDMA 및 NPYR 함량이 각각 5 및 10 kGy 이상의 선량에서 감소하였고, 저장 4주 후에도 비조사구에 비해 감마선 조사시 낮은 함량을 나타내었다. 또한 포장방법은 소시지의 N-nitrosamine 함량에 대한 뚜렷한 영향을 미치지 않았다.

감사의 글

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

문 헌

1. Cassens RG. 1995. Use of sodium nitrite in cured meats

today. *Food Technol* 49: 72-80, 115.

2. Maugh THIII. 1994. Study links hot dogs, cancer. The Washington Post, Washington DC. June 3.

3. Francis FJ. 2000. *Encyclopedia of Food Sci & Tech*. John Wiley & Sons, Inc., New York. p 1707-1715.

4. Seel DJ, Kawabata T, Nakamura M, Ishibashi T, Hamano M, Mashimo M, Shin SH, Sakamoto K, Jhee EC, Watanabe S. 1994. N-nitroso compounds in two nitrosated food products in southwest Korea. *Food Chem Toxic* 32: 1117-1123.

5. Tricker AR, Spiegelhalter B, Preussmann R. 1989. Environmental exposure to preformed nitroso compounds. *Cancer Suveys* 8: 251-259.

6. Lijinsky W. 1999. N-Nitroso compounds in the diet. *Mutat Res* 443: 129-138.

7. Mirvish SS. 1995. Role of N-nitroso compounds and N-nitrosation in etiology of gastric, esophageal, nasopharyngeal and bladder cancer and contribution to cancer of known exposures to NOC. *Cancer Letters* 93: 17-48.

8. Cassens RG. 1997. Residual nitrite in cured meat. *Food Technol* 51: 53-55.

9. Vermeer ITM, Moonen EJC, Dallinga JW, Kleinjans JCS, Maanen MS. 1999. Effects of ascorbic acid and green tea on endogenous formation of N-nitrosodimethylamine and N-nitrosopiperidine in humans. *Mutat Res* 428: 353-361.

10. Mirvish SS, Wallcave L, Eugen M, Shubik P. 1972. Ascorbate-nitrite reaction: possible means of blocking the formation of carcinogenic N-nitroso compounds. *Science* 177: 65-69.

11. Eisenbrand G, Spiegelhalter B, Janzowski C, Kann J, Preussmann R. 1978. Volatile and non-volatile N-nitroso compounds in foods and other environmental media. In *Environmental aspects of N-nitroso compounds* (IARC Scientific Publications No. 19). Walker EA, Castegnaro M, Griците L, Lyle RE, eds. Lyon: International Agency for Research on Cancer. p 311-324.

12. Yang CS, Wang ZY. 1993. Tea and cancer. *J Natl Cancer Inst* 85: 1038-1049.

13. Bartsch H, Ohshima H, Pignatelli B. 1988. Inhibitors of endogenous nitrosation; mechanisms and implications in human cancer preservation. *Mutat Res* 202: 307-324.

14. Loaharanu P. 1989. Worldwide Status of Food Irradiation and the FAO/IAEA/WHO/ITC-UNCTAD/GATT International Conference on the Acceptance: control of and Trade in Irradiated Food. *Radiat Phys Chem* 34: 1013-1030.

15. Wierbicki E, Brynjolfsson A. 1979. The use of irradiation to reduce or eliminate nitrite in cured meats. Presented at 25th Eur Meet Meat Res Workers. Budapest, August. p 27-31.

16. Deng D, Li T, Ma H, Wang R, Gu L, Zhou J. 1998. Characterization of N-nitrosomethylurea in nitrosated fermented fish products. *J Agric Food Chem* 46: 202-205.

17. Shuker DEG, Tannenbaum SR. 1983. Determination of non-volatile N-nitroso compounds in biological fluids by liquid chromatography with postcolumn photohydrolysis detection. *Anal Chem* 55: 2152-2155.

18. Ahn HJ, Yook HS, Rhee MS, Lee CH, Cho YJ, Byun MW. 2002. Application of gamma irradiation on breakdown of hazardous volatile N-nitrosamines. *J Food Sci* 67: 596-599.

19. Raoul S, Gremaud E, Biaudet H, Turesky RJ. 1997. Rapid solid-phase extraction method for the detection of volatile nitrosamines in food. *J Agric Food Chem* 45: 4706-4713.

20. SAS Institute, Inc. 1985. *SAS Users Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

21. Kim SH, Wishnok JS, Tannenbaum SR. 1985. Formation of N-nitroso-dimethylamine in Korean seafood sauce. *J Agric Food Chem* 33: 17-19.

22. Park KR, Lee SJ, Shin JH, Kim GJ, Sung NJ. 1998. The formation of N-nitrosamine in commercial cured products. *Kor J Food Hyg Safety* 13: 400-405.
23. Fiddler W, Gates RA, Pensabene JW, Phillips JG, Wierbicki E. 1981. Investigations on nitrosamines in irradiation-sterilized bacon. *J Agric Food Chem* 29: 551-554.

(2001년 12월 31일 접수; 2002년 5월 9일 채택)