

방사선 조사에 의한 계란분말의 리보플라빈 및 닭고기의 나이아신 함량변화

김신희¹ · 육홍선¹ · 변명우² · 정영진^{1*}

¹충남대학교 식품영양학과

²한국원자력연구소 방사선식품·생명공학기술연구팀

Effects of Gamma Irradiation on the Content of Riboflavin in Egg Powder and Niacin in Chicken Breast

Shin-Hee Kim¹, Hong-Sun Yook¹, Myung-Woo Byun² and Young-Jin Chung^{1*}

¹Dept. of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Radiation Application Research Division Advanced Radiation Technology Institute, Jeonbuk 580-185, Korea

Abstract

Not enough data on nutritional change of foods by gamma irradiation are accumulated. It is known that amounts and digestibility of macronutrients such as carbohydrates, proteins and lipids are not significantly altered by irradiation treatment. However, among micronutrients, vitamins are known to be susceptible to irradiation. This study was conducted to investigate the change of contents of riboflavin in egg powder and niacin in chicken breast. By irradiation of 5 and 10 kGy, riboflavin contents of egg powder were respectively reduced to 80.18% and 84.80% of non-irradiated sample, and niacin contents in chicken breast were reduced to 85.30% and 92.60%, respectively. These results suggest that the reduction rate by gamma irradiation seems to be lower in niacin content than in riboflavin, and the losses of riboflavin and niacin occur within the range of 20% by irradiation of up to 10 kGy.

Key words: gamma irradiation, riboflavin, niacin, egg powder, chicken breast

서 론

식품에 방사선 조사기술의 이용은 선진국을 중심으로 다각적인 연구에 의해 발전되어 왔고, 현재 기존의 어떤 위생화 처리 방법보다도 효과적이며 미생물학적, 독성학적, 유전학적, 영양학적 안정성이 확보된 유용한 기술로 평가 받고 있다(1,2). 1960년대에는 식품의 신선도 및 저장기간을 연장할 목적으로 도입된 후 1980년대 이후에는 발아억제 식품에서부터 육가공의 살균, 위생화에 이르기까지 방사선 조사기술이 다양하게 이용되어 왔다(1). 현재 40여 개 국에서 향신료, 곡류, 과채류, 육류, 해산물 등 230여개의 식품에 허가되어 있으며(3), 국민의 식량안전과 확보차원에서 식품의 안정성과 품질향상을 위해 그 이용의 확대가 기대되고 있다. 또한, 방사선 조사식품의 안정성과 영양학적 평가 결과는 코덱스 표준규격(4)에 의해 인정되었으며 1983년에 채택한 FAO/IAEA/WHO 전문가 위원회 방사선 조사 식품의 안전성 보고에 의하여 평균 조사량 10 kGy까지는 독성을 지니지 않는다는 결론에 근거하였다.

식품의 방사선 조사는 다량 및 미량 영양소의 일부를 변화

시킬 수 있어 비조사식품과 조사식품의 일반적인 조리가공 방법 및 가열온도와 방법에 따른 영양소 손실의 비교 정보가 필요하며(5-7), 방사선 조사에 대해 감수성이 예민한 비타민들의 경우 조사시 탈탄소나 저온의 조건을 맞춰주면 10 kGy 이상의 선량에서도 함량의 저하 정도가 매우 적어 영양학적인 품질에는 문제가 없는 것으로 보고되었다(8,9). 현재까지의 연구결과로서 방사선 조사에 감수성이 큰 영양소인 수용성 비타민으로는 비타민 B₁, 비타민 C, 피리독신, 비타민 B₂, 엽산, 코발아민, 나이아신의 순이고, 지용성 비타민에서는 비타민 E, A, D, K의 순으로 알려져 있다(10-12).

그 동안 수행된 방사선 조사 식품의 수용성 비타민의 영양학적 측면에 관한 연구들을 살펴보면 냉동계란과 밀에서 최대 5 kGy까지의 조사와 가열살균에 의한 비타민 B₁, B₂, 나이아신, 피리독신, 판토텐산, 비오틴 함량의 변화(13), 돼지고기와 닭고기에서 비타민 B₁(14,15), B₂, C, 유제품에서 비타민 B₁, B₂, B₁₂, 새우에서 방사선 조사선량과 조사온도를 달리 하여 가열조리에 따른 비타민 B₁, B₂, 나이아신(16) 함량 변화, 대구살(17)에서 비타민 B₂, sorghum porridge에서 B₁, 비타민 C(18), 브라질콩(19)에서 B₁, B₂, 피리독신의 함량 변

*Corresponding author. E-mail: yjchung@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6833. Fax: 82-42-821-8887

화, 베이컨(8)에서 방사선 조사와 튀김조리 후에 B₁과 B₂의 잔존율, 양파분말(20)에서 비타민 C, 시금치 relish(18)에서 비타민 B, C, 파프리카분말(21)에서 비타민 C에 대한 연구 등 다수의 논문이 발표되었다.

이와 같이 최근까지 발표된 방사선 조사 식품의 영양학적 검토는 주로 외국에서 그들의 조사 기술로 그들이 섭취하는 식품을 대상으로 이루어져 왔기 때문에 조사 기술 수준이나 조사 대상 식품이 우리의 여건과는 다를 수 있다. 본 연구에서는 전보(22)에서 다른 비타민 B₁과 비타민 C에 이어 수용성 비타민 중에서 리보플라빈, 나이아신을 택해 각기 이들을 비교적 많이 함유하고 있는 계란 분말, 닭가슴살에서 방사선 조사에 의한 이들 비타민 함량의 변화를 알아보고자 현재 세계적으로 시행되고 있는 각 식품별 선량에 근거하여 최대 10 kGy까지 방사선 조사를 시행하고, 순수용액상태의 비타민 수용액에도 동일하게 조사한 후 이들 비타민의 함량변화를 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 식품재료는 리보플라빈의 분석을 위해서 계란분말을 사용했으며, 계란 분말은 시판 계란을 구입하여 -70°C에서 동결건조한 후 분말상태로 하여 사용하였다. 나이아신 분석을 위해서는 닭가슴살을 사용했으며, 분석에 사용된 식품은 모두 국내산으로 인근 대형 마트에서 구입하였다.

감마선 조사 및 보관

시료의 감마선 조사는 10 kGy/h의 선량율로 흡수선량이 5 kGy와 10 kGy(선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설 IR-70 gamma irradiator, 20±1°C)가 되도록 조사하였으며 조사 후 흡수선량의 확인은 dosimeter를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다. 감마선 조사를 위한 2종류의 시료(계란분말, 닭가슴살) 포장은 100 g 단위로 폴리에틸렌 필름의 접합포장재를 사용하여 합기 포장하였고 시료는 본래 상태대로 -20°C에 보관 후 실험에 사용하였으며 각 시료에 대한 영양소의 분석은 3회 반복 측정하였다.

비타민의 분석

계란분말의 리보플라빈 : 시료의 리보플라빈 함량은 식

품공전에 제시된 방법(23)을 응용하여 측정하였다. 균질화한 시료 10 g을 취하여 0.1 N HCl 60 mL을 가한 후 121°C, 1.5기압에서 30분간 고압멸균 처리하였다. 2 M CH₃COONa 5 mL을 가한 후 pH 4.5로 맞추고 10% takadiastase와 papain을 각각 4 mL씩 가하였다. 42~45°C의 배양기에서 2~3시간 배양 후 50% TCA 용액을 가하여 잘 혼합하고 증류수를 이용하여 100 mL로 정용한 후 여과지로 여과하여 시험용액으로 사용하였으며 표준용액의 제조는 리보플라빈 10 mg을 메스플라스크에 취해 시료의 전처리와 동일하게 처리하였다. HPLC 조건은 Table 1과 같다.

닭가슴살의 나이아신 : 시료의 전처리, 표준용액의 제조 방법은 리보플라빈과 동일하게 하였고, HPLC 분석조건은 Takatsuki 등(24)의 방법을 응용하여 사용하였으며 Table 1에 나타내었다.

리보플라빈과 나이아신의 순수용액 조제, 감마선 조사, 비타민 함량 분석 : 리보플라빈과 나이아신의 순수용액은 각각 농도를 리보플라빈은 5 mg%로, 나이아신은 100 mg%로 하였다. 감마선 조사는 식품에서와 같은 조건에서 이루어졌으며 총 조사선량을 1, 3, 5, 7, 10 kGy로 하였다. 가열처리구는 waterbath상에서 72°C에서 15초(HTST: high temperature-short time) 처리하였다. 마이크로웨이브처리구는 전자레인지(Microchef RE-778BR, Samsung, Korea)를 이용하여 출력은 강에서 1분간 실시하였다. 2종의 비타민 수용액의 감마선 비처리구 및 처리구의 일정량을 100 mL로 정용한 후 0.45 µm membrane filter로 여과하여 HPLC(Waters 2690 separation module, M996 Photodiode Array Detector)로 분석하였다. 이때의 HPLC 분석 컬럼은 Nova-pak C(3.9 × 150 mm, Waters, USA), 이동상은 5 mM K₃HPO₄(pH 4.6):acetonitrile(30:70, v/v)을 사용하였으며 이동속도는 1.8 mL/min, 주입량은 20 µL, 컬럼온도는 실온으로 하여 265 nm에서 분석하여 표준물질과 비교하였다.

통계처리

실험결과는 SPSS program을 이용하여 분석하였다. 각 결과들은 ANOVA 분석을 통해 처리군 별로 평균±표준편차로 표시하였으며, 각 처리군 간의 평균치의 통계적 유의성은 p<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 사후 검정하였다.

Table 1. HPLC condition for analysis of riboflavin in egg powder and niacin in chicken breast

	Riboflavin	Niacin
Instrument	Hitachi L-6000	Sykam S1121
Detector (wavelength)	Biosystem 759A UV (272 nm)	Waters 484 UV (263 nm)
Column	Metachem Monochrome C ₁₈ 4.6*250 mm	Verian Monochrome C ₁₈ 5u 4.6*250 mm
Flow rate	1.0 mL/min	1.0 mL/min
Mobile phase	MeOH/10 mM:Na ₂ HPO ₄ (pH5.5)=35:65	Na ₂ HPO 46.93 g in water pH 2.5
Injection volume	20 µL	20 µL

결과 및 고찰

계란분말의 리보플라빈 함량 변화

식품 중 계란분말에 5, 10 kGy 선량으로 조사한 결과 계란 분말의 리보플라빈 함량($\mu\text{g/g}$)은 비조사시료에서 11.25 ± 0.15 , 5 kGy 조사시료에서 9.02 ± 0.11 , 10 kGy 조사시료에서 9.54 ± 0.11 로 비조사시료에 비해 리보플라빈 함량이 5 kGy 조사시료는 18.82%, 10 kGy 조사시료는 15.20% 감소하였다 (Fig. 1). 리보플라빈은 강력한 산화제로 $\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$ 와 같은 radical에 공격받기 쉬운 구조로 되어있다(25). Ford 등(26)의 연구에서도 실온에서 10 kGy로 조사된 우유에서 티아민 및 리보플라빈의 손실이 높게 나타났다고 하여 본 연구결과를 뒷받침한다. 이와 같이 유제품의 수용성 비타민 함량에 미치는 효과에 있어서는 비타민 수용액이나 식품(소고기, 닭고기) 모두 $-75^\circ\text{C} \sim -80^\circ\text{C}$ 의 냉동온도에서 조사하면 차이가 거의 없이 B 비타민의 보유가 높았다고 하였으며(27), 포장시의 조건으로 대기상태에서보다는 질소 상태하에서 포장할 때, 여러 B 비타민의 손실을 최소화 할 수 있다고 하였다. 반면, 분유를 실온에서 50 kGy의 선량으로 조사하였을 때 티아민과 리보플라빈에 영향을 미치지 않았다는 보고도 있다(28). 리보플라빈은 화학적 공격으로부터 꽤 안정하고 환원제에 의해 dihydroriboflavin으로 가역적으로 환원된다. 또한, 방사선 조사에 대한 리보플라빈의 저항성은 방사선 조사로부터 prosthetic group을 보호할 수 있는 단백질이 결합되었기 때문에 추측된다고 하는 보고도 있다(6). 따라서, 앞서 발표된 티아민의 결과에 비해 리보플라빈의 손실이 낮게 나타난 바(순수 용액의 비타민에 대한 결과와는 반대), 이는 조사에 의해 비타민 전구체가 활성 비타민으로 전환됨으로써 실제로 증가된 것일 수도 있고 조사에 의해 식품으로부터 리보플라빈의 추출율이 증가되었을 가능성(29)도 고려해볼 수 있다.

한편, 리보플라빈 수용액에서의 결과를 보면 1, 3, 5, 7,

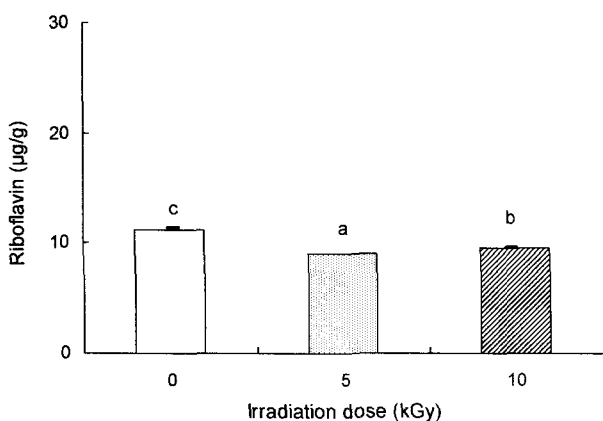


Fig. 1. Effects of irradiation on riboflavin contents of egg powder.

Values are mean \pm SD. Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

10 kGy로 감마선 조사한 후 무처리 대조구의 리보플라빈 함량 5 mg%와 비교시 각각의 리보플라빈 함량은 1.15, 0.63, 0, 0, 0 mg%로 5~10 kGy 처리시에 전량 소실되는 것으로 나타났다(Fig. 2). 식품에서의 리보플라빈 함량을 다룬 위에서의 결과나 다른 연구자(6,28)에 의한 결과에서 방사선 조사에 의한 손실이 별로 크지 않아 리보플라빈이 방사선에 비교적 안정한 편이라고 한 점과는 대조적이다. 이는 아마도 식품 속에 함께 존재하는 다른 성분의 보호효과 때문으로 추측된다. 마이크로웨이브 처리구의 경우는 4.99 mg%로 나타나 무처리 대조구 5 mg%에 비해 함량의 차이를 보이지 않았고 가열처리구에서는 0.58 mg%로 85% 이상 크게 감소하여 가열처리가 리보플라빈의 손실에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

닭가슴살의 나이아신 함량 변화

5, 10 kGy 선량의 방사선 조사 후 닭가슴살의 나이아신 함량을 분석한 결과는 Fig. 3에서와 같다. 닭고기의 나이아신 함량($\mu\text{g/g}$)은 비조사시료에서 30.13 ± 0.02 , 5 kGy 조사시료에서 25.70 ± 0.09 , 10 kGy 조사시료에서 27.90 ± 0.10 로 나타나 비조사시료에 비해 5 kGy 조사시료는 14.70%, 10 kGy 조사시료는 7.40% 감소하였다. 두 조사시료 모두 비조사시료에 비해 유의적으로 감소되었으나 리보플라빈에 비해 감소율은 낮았다. 일반적으로 식품속의 나이아신은 방사선 조사에 안정하다고 알려져 있다. 나이아신은 heterocyclic pyrimidine ring의 구조로 매우 안정하고 방사선 조사에 의해 쉽게 조개지지 않는다. 식품내에서 hydroxy radical과 hydrated electron 등 free radical을 내는 중간매개물질들은 niacin과의 반응에 앞서 리보플라빈 등의 더 강한 산화제나 기타 식품성분에 의해 먼저 산화되므로 비타민 중 나이아신은 손상을 별로 받지 않는다고 하였다(12,30). 이상의 결과로부터 10 kGy까지의 방사선 조사시 나이아신의 손실율은 약

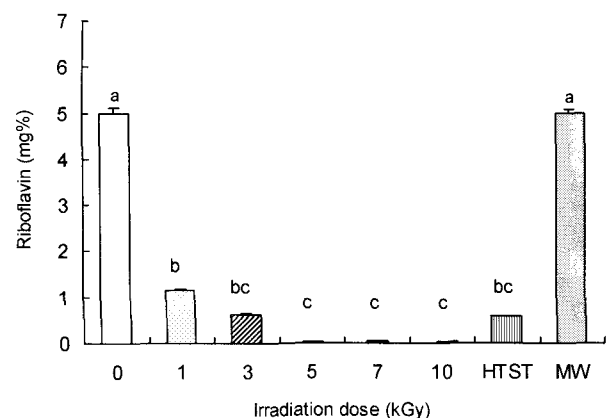


Fig. 2. Effects of irradiation, heating (72°C , 15 sec) and microwave (strong, 1 min) on riboflavin content in water solution. Values are mean \pm SD. Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. HTST (High temperature-short time, 72°C , 15 sec), MW (Microwave, strong, 1 min).

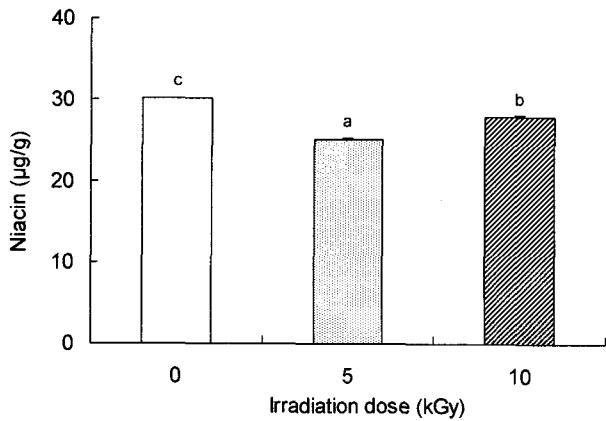


Fig. 3. Effects of irradiation on niacin contents of chicken breast.

Values are mean \pm SD. Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

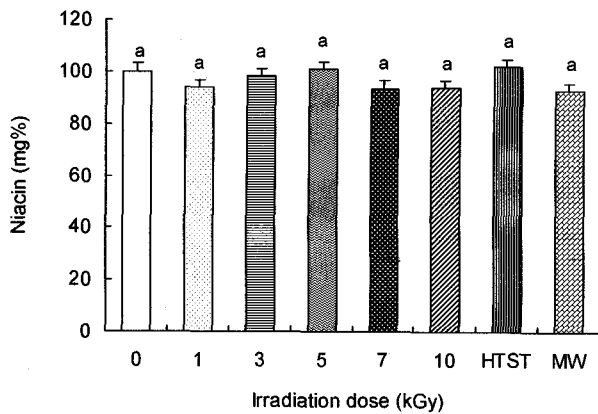


Fig. 4. Effects of irradiation, heating (72°C, 15 sec) and microwave (strong, 1 min) on niacin content in water solution. Values are mean \pm SD. Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. HTST (High temperature-short time, 72°C, 15 sec), MW (Microwave, strong, 1 min).

15%내외로서 리보플라빈의 손실율에 비해 다소 낮은 경향을 나타내었다.

나이아신 수용액에서의 결과를 살펴보면 무처리 대조구의 나이아신 함량은 100 mg%와 비교하여 1, 3, 5, 7, 10 kGy의 감마선 조사 후 나이아신 함량은 각각 94.05, 98.01, 100.79, 93.60, 93.80 mg%을 보였다. 마이크로웨이브 처리구의 경우는 무처리 대조구 100 mg% 대비 93.03 mg%로 감소하였으며 가열처리구는 101.90 mg%로 함량의 차이를 보이지 않았다(Fig. 4).

요 약

일부 식품내의 수용성 비타민의 안정성에 대한 방사선 조사 효과를 확인하기 위하여 수용성 비타민 중 리보플라빈이나 나이아신을 비교적 많이 함유하고 있는 계란과 닭가슴살

을 조사대상 식품으로 백해 방사선 조사 후 이들의 비타민 함량 변화를 조사하였다. 계란분말의 리보플라빈 함량은 비조사시료에 비해 5 kGy 조사시료는 80.18%, 10 kGy 조사시료는 84.80%로 함량이 감소하였다. 닭가슴살의 나이아신 함량도 두 조사시료 모두 비조사시료에 비해 유의적으로 감소되었으며, 비조사시료에 비해 5 kGy 조사시료는 85.30%, 10 kGy 조사시료는 92.60%로 감소됨으로서 방사선 조사에 의한 나이아신의 함량 변화는 리보플라빈에 비해 다소 미약하게 나타났다. 수용성 비타민 수용액의 변화 양상은 리보플라빈의 경우 5 kGy 조사부터 전량 손실이 일어났으며, 가열처리구에서도 85% 이상의 높은 감소를 나타냈다. 나이아신은 무처리 대조구와 비교시 감마선 조사, 가열처리구, 마이크로웨이브 처리구에서 비교적 함량의 변화가 적었다. 이상의 결과로부터 10 kGy 이내의 방사선 조사시 리보플라빈(계란분말)은 약 20%, 나이아신(닭가슴살)은 약 15%의 감소 비율을 보였고, 수용액 상태의 리보플라빈은 5 kGy 조사부터 전량 손실을 보여 식품중의 리보플라빈에 비해 높은 감수성을 보였다. 반면 나이아신 수용액은 모든 처리구에서 비교적 함량의 변화가 적어 리보플라빈에 비해 조사에 감수성이 낮음을 알 수 있었다. 따라서, 방사선 조사에 의한 식품 내 비타민의 감수성은 식품의 구성성분, 조사시 온도나 조사 후의 저장 온도 등과 같이 비타민의 조사 저항성에 영향을 주는 여러 요인에 따라 달라지므로 각 식품에 따른 처리조건을 확립하여 조사에 민감한 비타민의 보존율을 높이는 것이 중요하다 하겠다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 시행한 원자력 연구개발사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며, 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Byun MW, Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci Ind* 36: 25-40.
2. Byun MW. 1997. Application of aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind* 30: 89-100.
3. Lee CH. 1998. *Acceptance and trading on irradiated foods*. Korea University Press, Seoul.
4. FAO/WHO. 1984. *Codex general standard for irradiated foods*. Codex Alimentarius Commission, Roma, Italy.
5. Racica NJ, Scott J, Nielsen W. 1972. The nutritional quality or irradiation foods. *Radiat Res Rev* 3: 447-457.
6. Tobback PP. 1977. Radiation chemistry of vitamins. In *Radiation Chemistry of Major Food Components*. Elias PS, Cohen AJ, eds. Elsevier Science, New York. p 187-220.
7. Josephson ES, Thomas ME, Calhoun WK. 1979. Nutritional aspects of food irradiation: an overview. *J Food Process Preserv* 2: 299-313.
8. Thayer DW, Shieh JJ, Jenkins RK, Phillips JG, Wierbicki E, Ackerman SA. 1989. Effect of gamma ray irradiation and

- frying on the thiamine content of bacon. *J Food Qual* 12: 115-134.
9. Galetto W, Kahan J, Eiss M, Welbourn J, Bednarczyk A, Siberstein O. 1979. Irradiation treatment of onion powder: effects on chemical constituents. *J Food Sci* 44: 591-595.
 10. Kraybill HF. 1982. Nutritional and biochemical aspects of food preserved by ionizing radiation. *J Home Econ* 50: 695-701.
 11. Murray TK. 1983. Nutritional aspects of food irradiation. In *Recent advances in food irradiation*. Elias PS, Cohen AJ, eds. Elsevier Biomedical, Amsterdam. p 203-216.
 12. Thayer DW, Fox JB, Lakrits L. 1991. Effects of ionizing radiation on vitamins. In *Food irradiation*. Thorne S, ed. Elsevier Science Publishers, Barking, UK. p 285-325.
 13. Kennedy TS. 1965. Studies on the nutritional value of foods treated with gamma radiation. I. Effects on some B-complex vitamins in egg and wheat. *J Food Sci Agric* 16: 81-84.
 14. Thomas MH. 1957. Effect of radiation and conventional processing on the thiamin content of pork. *J Nutr* 62: 107-118.
 15. Thomas MH, Atwood BM, Wierbicki E, Taub IA. 1981. Effect of radiation and conventional processing on the thiamin content of pork. *J Food Sci* 46: 824-828.
 16. Lee KF, Hau LB. 1996. Effect of γ -irradiation and post-irradiation cooking on thiamin, riboflavin and niacin contents of grass prawns (*Penaeus monodon*). *Food Chemistry* 55: 379-382.
 17. Kennedy TS, Ley FJ. 1971. Studies on the combined effect of gamma irradiation and cooking on the nutritional value of fish. *J Sci Food Agric* 22: 146-148.
 18. Duodu KG, Minnaar A, Taylor JRN. 1999. Effect of cooking and irradiation on the labile vitamins and antinutrient content of a traditional African sorghum porridge and spinach relish. *Food Chemistry* 66: 21-27.
 19. Villavicencio ALCH, Mancini-Filho J, Delincée H, Bognár A. 2000. Effect of gamma irradiation on the thiamine, riboflavin and vitamin B₆ content in two varieties of Brazilian beans. *Radiation Physics and Chemistry* 57: 299-303.
 20. Galetto W, Kahan J, Eiss M, Welbourn J, Bednarczyk A, Silberstein O. 1979. Irradiation treatment of onion powder: effects on chemical constituents. *J Food Sci* 44: 591-595, 605.
 21. Farkas J, Beczner J, Incze K. 1973. Feasibility of irradiation of spices with special reference to paprika. Radiation Preservation of Food (STI/PUB/317). IAEA, Vienna, Austria. p 389-401.
 22. Chung YJ, Yook HS. 2003. Effect of gamma irradiation on the content of thiamine in chicken breast and vitamin C in strawberry and mandarin orange. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 864-869.
 23. Korea Food and Drug Administration. 2002. *Food Standard Codex*. p 320-321.
 24. Takatsuki K, Suzuki S, Sato M, Sakai K, Ushizawa I. 1987. Liquid chromatographic determination of free and added niacin and niacinamide in beef and pork. *J Assoc Off Anal Chem* 70: 698-701.
 25. Fujimake M, Morita M. 1968. Radiation chemistry of foods. I. Reaction rate constants of some foods constituents with hydrated electrons and hydroxyl radical. *Agric Biol Chem* 32: 574-579.
 26. Ford JE, Gregory ME, Thompson SY. 1962. The effect of gamma irradiation on the vitamins and proteins of liquid milk. Int. Dairy Congress. Abstr. 917, p 917-923.
 27. Wilson GM. 1959. The treatment of meats with ionizing radiation. II. Observations on the destruction of thiamin. *J Sci Food Agric* 10: 295-300.
 28. Ziporin ZZ, Kraybill HF, Thach HJ. 1957. Vitamin content of foods exposed to ionizing radiations. *J Nutr* 63: 201-209.
 29. Fox Jr JB, Thayer DW, Jenkins RK, Philips JG, Ackerman SA, Beecher GR, Holden JM, Morrow FD, Quirbach DM. 1989. Effect of gamma irradiation on the B vitamin of pork chops and chicken breasts. *Int J Radiat Biol* 55: 689-703.
 30. Brühlmann U, Hayon E. 1974. One-electron redox reaction of water soluble vitamins. I. Nicotinamide (vitamin B₃) and related compounds. *J Am Chem Soc* 96: 6169-6175.

(2005년 4월 19일 접수; 2005년 8월 19일 채택)