

방사선 조사와 가열처리에 의한 닭고기의 비타민 B₁ 및 감귤과 딸기의 비타민 C 함량의 변화

정영진[†] · 육홍선

충남대학교 식품영양학과

Effects of Gamma Irradiation and Cooking Methods on the Content of Thiamin in Chicken Breast and Vitamin C in Strawberry and Mandarin Orange

Young-Jin Chung[†] and Hong-Sun Yook

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

Abstract

In order to expand the acceptability of irradiated foods by public, substantial basic data about the change of nutrient contents during irradiation are needed. The nutrient contents and digestibility of macronutrients such as carbohydrates, proteins and lipids in foods are known to be not significantly influenced by irradiation treatment. However, some of the vitamins among micronutrients are susceptible to irradiation to a large extent depending upon the food composition, food process and storage condition. This study was conducted to investigate change of thiamin in chicken breast, and vitamin C in strawberry and mandarin orange after irradiation. The effects of irradiation at frozen or refrigerated state and the effects of cooking such as heating or microwave on thiamin contents in chicken breast were observed. Irradiation reduced the thiamin content, however, temperature condition during irradiation was much more important factor to the loss of thiamin contents. In strawberry, vitamin C content was significantly affected by original content or the variety rather than treatments such as irradiation, heating or microwave. These results indicated that the losses of water-soluble vitamins, especially thiamin or vitamin C, are affected by food temperature during irradiation process and variety or composition of foods rather than irradiation itself, within an acceptable range of irradiation.

Key words: gamma irradiation, thiamin, vitamin C, chicken breast, strawberry, mandarin

서 론

식품의 방사선 조사 기술은 국·내외적으로 이용범위가 확대되고 있으며, 기존 식품의 가공 및 저장기술로서 이용되어 온 열처리 혹은 보존제, 훈증제 등의 방법에 비해 안전성, 효용성, 경제성, 환경적 측면에서 많은 장점을 갖고 있다. 더욱이 최근에는 식품의 살균, 살충 등에 사용되는 화학 훈증제의 사용이 세계적으로 점차 금지되고 있고, 국가간 교역에서도 품질규격이 더욱 엄격해지고 있는 반면, 세계 45개국에서 가동되고 있는 170여기의 식품조사 시설은 의료용품, 화장품, 식품포장용기 멸균 등 산업적으로 다양하게 활용될 수 있기 때문에 조사시설이 세계적으로 증가되고 있을 뿐만 아니라 사용이 용이해지고 있다(1,2). 식품의 방사선 조사 기술은 1960년 이래 농수축산물의 발아·발근 억제, 해충 구제, 기생충 사멸, 속도 조절 및 미생물 제어에 의한 저장수명 연장 등을 목적으로 다양하게 이용되어 왔으며, 완전포장된 형태로 처

리가 가능하여 살균처리 후 이차오염의 가능성이 제거된 효과적인 살균법이다. 이외에도 식품의 물성개선 및 식품가공의 공정개선 등의 효과를 부여한다. 최근 세계 각국에서 식품에 사용되는 보존제나 훈증제(ethylene dibromide, ethylene oxide, methyl bromide, phosphine 등)가 유해성분의 생성 및 잔류로 암유발 등과 같은 치명적 건강장해를 일으킬 수 있기 때문에 그 사용이 금지되거나 제한되고 있어, 이에 대한 대체방안으로 WHO/FAO/IAEA 전문가들은 방사선 조사 기술의 이용을 적극 권장하고 있다. 현재 식품에 방사선 조사를 허용하는 국가들도 점차 증가하여 현재 미국, 영국, 캐나다, 프랑스 등의 선진국을 포함하여 41개국에 달하고 있으며 허용 품목수도 최대 80여 개로 점차 증가하고 있다(3,4).

현대사회의 소비자들은 건강에 대한 강한 욕구로부터 식품의 위생적 측면을 점차 중요시하고 있으며, 특히 개발도상국의 원료를 주로 수입하여 가공되는 패스트푸드 등의 편의 식품과 수입식품의 수요가 높아지면서 새로운 식품가공, 저

[†]Corresponding author. E-mail: yjchung@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6833. Fax: 82-42-822-8283

장 및 위생화 기술의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 그러나 무엇보다도 방사선 조사기술의 실용화는 소비자의 이해가 선행되어야 하므로 현행 식품가공, 저장방법의 장단점과 방사선 조사기술의 특징이 사실적 근거에 입각하여 정확하게 비교 검토되고 홍보되어야 할 것이며, 정부 차원에서도 방사선 조사기술의 사용을 위한 규정 제정을 위한 법적 근거 마련이 필요한 실정이다(5,6).

이러한 식품의 방사선 조사에서 고려해야 할 중요한 점 중의 하나는 방사선 조사 식품이 기존의 방법에 의해 가공된 식품과 영양적으로 어떤 차이가 있는가라는 문제이다. Codex 영양위원회가 1983년에 채택한 방사선 조사식품에 대한 Codex 표준규격에서는(7) 평균 조사량을 10 kGy까지로 제한하고 있으며, 이와 같은 결정은 1980년대에 있었던 FAO/IAEA/WHO 전문가 위원회 방사선 조사식품의 안전성에 대한 보고서에 의한 결정으로 방사선 조사된 모든 종류의 식품에 대하여 전체 평균 조사량 10 kGy까지는 독성을 지니지 않는다는 결론에 근거한 것이다. 본 실험에서도 최대 10 kGy 까지 현재 세계적으로 시행하고 있는 각 식품별 선량에 근거하여 충분한 조사선량을 설정한 후 실험하였다.

방사선 조사식품의 수용성(acceptability)을 평가하기 위해 우선 고려해야 할 중요한 사항중의 하나는 조사식품과 비조사식품간 및 타가공 처리 방법에 따른 조사식품과 비조사식품간에 영양적 차이가 없는지에 관한 우려에 대해 납득이 갈만한 자료의 제시이다. 식품의 방사선 조사는 다량영양소 및 미량영양소 등에 일부 변화를 일으킬 수 있으며, 따라서 비조사식품과 조사식품의 일반적인 조리가공방법 및 가열온도와 방법에 따른 영양소 손실의 비교 정보가 필요하다(8-10). 현재까지 보고된 연구결과를 살펴보면 방사선 조사에 가장 민감한 수용성 비타민은 비타민 B₁(티아민), 비타민 C, 피리독신, 리보플라빈, 엽산, 코발라민, 나이아신의 순이고, 지용성 비타민은 비타민 E, 비타민 A, 비타민 K, 비타민 D의 순으로 알려져 있고, 이는 식품의 종류와 저장조건에 따라 다르다고 한다(11-13).

따라서 본 연구는 방사선 조사에 가장 민감한 수용성 비타민 중 티아민과 비타민 C에 대해 각기 이들 단독의 수용액 상에서의 비 조사구와 조사구의 조사선량에 따른 차이를 살펴 보았고, 이들의 주요 급원식품이거나 우리의 식생활에서

즐겨먹는 식품인 닭고기, 귤, 딸기에 대해 방사선 조사시의 온도조건을 냉장과 냉동으로 달리하여 방사선 조사에 따른 해당 비타민의 함량변화를 조사하였다. 또한 가공조리방법을 마이크로웨이브 조리과 몇 가지 가열조리 방법으로 행하여 이들 비타민의 함량 변화를 검토하였다.

재료 및 방법

재료

티아민의 분석에 사용된 식품재료는 일반 시판 닭가슴살(목우촌, 한국)을 사용하였으며, 비타민 C 분석을 위해서는 제주도산 조생종 귤과 딸기 3종을 인근 대형 할인 마트에서 구입하였다.

닭고기의 감마선조사를 위한 포장 및 보관

닭가슴살을 1개씩 집합포장재(Nylon, NY 15 μm /PE 100 μm ; 투습도, 4.7 $\text{g}/\text{m}^2/24 \text{ hr}$; 산소투과도, 22.5 $\text{cc}/\text{m}^2/24 \text{ hr}$)를 이용하여 합기포장하였다. 저장온도에 따른 차이를 보기 위해 닭고기 가슴살 10개를 준비하여 5개는 4°C에서, 5개는 -20°C에서 보관하며 실험에 사용하였으며 각 처리구 별로 3반복 실험하였다(Table 1).

감마선조사

닭고기의 감마선 조사는 10만 Ci Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 시간당 2 kGy의 선량율로 0, 1, 2.5, 5, 7.5, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였고, ceric cerous dosimeter (Bruker Instruments, Germany)를 이용한 흡수선량 확인에서 흡수선량 오차범위는 $\pm 6 \text{ Gy}$ 였다. 귤과 딸기 3종은 구입후 마쇄하여 사용하였다. 조사선량은 귤의 경우 1, 2.5, 5, 7.5, 10 kGy이고 딸기는 1, 2, 3 kGy였으며 실온상태에서 방사선 조사하였다.

감귤에 대한 가열처리

귤은 방사선 조사결과와 다른 열처리 가공결과를 비교하고자, 귤을 2군으로 나누어 한 군은 72°C의 수조에서 15초(HTST: high temperature-short time)간 열처리하였고 다른 한 군은 전자레인지(Microchef RE-778BR, Samsung, Korea)를 이용하여 출력을 '강'에서 1분간 microwave 처리하였다. 그러나 딸기는 가열 처리하지 않았다(Table 1).

Table 1. Treatment conditions for irradiation and heating of three kinds of sample materials

Water-soluble vitamin	Sample material	Heat treatment	Storage temperature	Food temperature for irradiation	Irradiation dose (kGy)
Vitamin B ₁	Chicken breast	***-Heating at 180°C till internal temp. 85°C			1, 2.5, 5, 7.5, 10
		Refrigerated sample: direct heating Frozen sample: after defrosted	4°C -20°C	4°C -20°C	
Vitamin C	Mandarine orange	-15 sec in 72°C water bath -1 min strong microwave	Refrigerated	Room temperature	1, 2.5, 5, 7.5, 10
	Strawberry	-	Refrigerated	Room temperature	1, 2, 3

감마선 조사한 닭고기의 가열 처리

닭고기는 가열조리하여 섭취하게 되므로 감마선 조사후 냉장 시료의 경우 그대로, 냉동 시료의 경우는 흐르는 수돗물로 해동하여 100°C의 물에서 내부온도가 85°C가 될 때까지 가열하였다.

티아민의 분석

가열 시료와 비 가열 시료의 냉장처리군과 냉동처리군에 대해 선량별 감마선 처리군과 비처리군(2×2×6)의 24개 실험군을 각기 마쇄한 후 잘 섞어 10 g을 칭량하였다. 0.1 M hydrochloric acid 50 mL를 첨가하고 3분 동안 잘 섞은 후 뚜껑을 덮고 121°C, 15 lb에서 30분간 멸균 후 즉시 50°C까지 냉각시켰다. Acetic acid buffer 5 mL와 바로 준비한 Takediastase 5 mL를 첨가하였다. 또, pH를 4.0~4.5로 보정하고 48°C 진탕조에서 3시간 동안 진탕 후 냉각시켜 증류수로 100 mL로 정용하였다. Whatman 여지로 여과한 후, 그 여액을 실험할 때까지 -20°C에서 보관하며 사용하였다. 여액 5 mL를 시험관에 취하고 바로 제조한 alkaline potassium ferricyanide solution 3 mL를 첨가한 후, 충분히 섞어 암소에서 10분간 방치한 후 0.45 µm membrane filter로 여과하여 HPLC (Waters 2690 separation module, Fluorescence detector, 375 nm excitation/435 nm emission)로 분석하였다. 이때의 HPLC 분석조건은 칼럼은 25 cm×4.6 id.(Packed with 10 µm spherisorb ODS 2, Phase Separations Ltd., UK), 이동상은 Methanol : Water(60 : 40)를 사용하였으며, 이동속도는 0.9 mL/min, 주입량은 10 µL, 컬럼온도는 실온으로 분석하였고 최종 데이터는 표준물질과 비교하여 정량하였다(14).

비타민 C의 분석

조생종 감귤류를 조사선량별 5개 처리군, 비처리군, 가열 처리군(high temperature-short time: 72°C, 15초) 및 microwave 처리군(1분)의 총 8개 실험구로 하고, 딸기류는 2개 재래종과 1개 개량종의 3품종에 대해 3개 조사선량의 감마선 처리군과 비처리군의 12개군으로 하여 각각의 시료 10 g을 5% metaphosphoric acid를 첨가하여 균질화한 후 100 mL로 정용하였다. 정용한 액은 원심분리(4000×g, 15분)후 0.45 µm membrane filter로 여과하여 HPLC(Waters 2690 separation module, M996 Photodiode Array Detector)로 분석하였다. 이때의 HPLC 분석조건은 Albrecht와 Schafer의 방법(15)에 따라 칼럼은 Nova-pak C(3.9×150 mm, Waters, USA), 이동상은 5 mM KHPO(pH 4.6) : Acetonitrile(30 : 70, v/v)로 하여 265 nm에서 분석하여 표준물질과 비교하였다.

티아민과 비타민 C의 순수용액 제조

티아민과 비타민 C의 순수용액은 각각 농도를 100 mg/100 mL 및 10 mg/100 mL로 제조하였다. 감마선 조사는 식품에서와 같은 조건에서 이루어졌으며 0, 1, 3, 5, 7, 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 순수용액의 가열처리조건은 72

°C의 수조와 전자레인지로 사용하여 감귤류에서와 동일하게 하였다.

통계분석

본 실험에서 얻어진 결과의 통계분석은 SAS(statistical analysis system) program(16)를 이용하였으며 조사군과 비조사군간, 조사선량군별, 조사시의 저장온도조건별, 가열조리와 마이크로 웨이브처리군 간의 차이의 통계적 유의성은 t-test와 ANOVA 및 Duncan의 multiple range test에 의해 $\alpha < 0.05$ 수준에서 검토하였다.

결과 및 고찰

닭고기의 티아민 함량 변화

일반적으로 가열, 마이크로웨이브 등 다른 처리방법과 같이 방사선 조사 선량이 증가함에 따라 영양소의 손실이 증가하지만 손실율은 영양소에 따라 각기 다르다. 즉, 어떤 영양소들은 조사에 매우 안정하여 고선량 조사에서도 손실이 전혀 없는가 하면 어떤 영양소는 반대의 결과를 보이기도 한다. 특히 비타민은 방사선 조사에 대해 다양한 감수성을 가지고 있다. 일반적으로 수용성 비타민의 경우 티아민이 가장 높은 방사선 감수성을 보이고, 비타민 C, 피리독신, 리보플라빈, 엽산, 나이아신, 비타민 B₁₂의 순으로 조사에 대한 감수성이 감소된다고 하였다(17). 그러나 이러한 식품내 비타민의 방사선 조사에 대한 감수성은 식품의 구성성분, 포장시의 대기조건, 조사 시 온도 혹은 조사 후의 저장 온도 등과 같이 비타민의 조사 저항성에 영향을 주는 많은 요인들에 따라 달라서 특정 비타민에 대한 방사선 조사 감수성도 개개 식품마다 다르게 나타난다. 본 연구 결과에서도 수용액상에서는 상당량의 비타민의 감소를 나타내었으나(Fig. 1, 3), 식품에서는 조사에 의한 영향을 거의 보이지 않았다(Fig. 2, 4, 5).

먼저 비타민 B₁ 수용액에서의 본 연구 결과를 살펴보면 1 kGy 처리군, 가열 처리군, 마이크로웨이브 처리군의 경우 유의적인 차이는 없었으나, 3~10 kGy 처리군에서는 유의적으로 비타민 B₁이 감소됨을 알 수 있었다. 한편, 닭 가슴살의 조사시 온도에 의한 방사선 조사의 영향을 보면, 4°C의 냉장 온도에서 1 kGy로 조사된 시료의 경우 동일한 4°C 냉장 온도의 비조사군과 비타민 B₁량에 변화가 없었고 2.5 kGy로 조사된 시료는 동일 온도의 비조사군에 비해 약 21%의 감소가 나타났으나, 냉동온도인 -20°C에서 2.5 kGy로 조사된 시료는 냉동온도의 비조사군에 비해 약 7%만이 감소되었을 뿐이다(Fig. 2). 즉, 전반적으로 4°C 저장보다 -20°C 저장 시료가 티아민의 감소가 적었다. 또한 본 실험 결과는 미국 등 선진국에서 닭고기의 상업적 조사선량인 2.5 kGy 조사시 냉동상태에서 조사한 것이 같은 조사선량이라도 냉장상태에서 조사한 것에 비해 동일한 가열조리방법을 사용했을 때 티아민 함량이 약 24% 정도 더 많이 보유되었다는 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 이와 유사하게 여러 온도 하에서

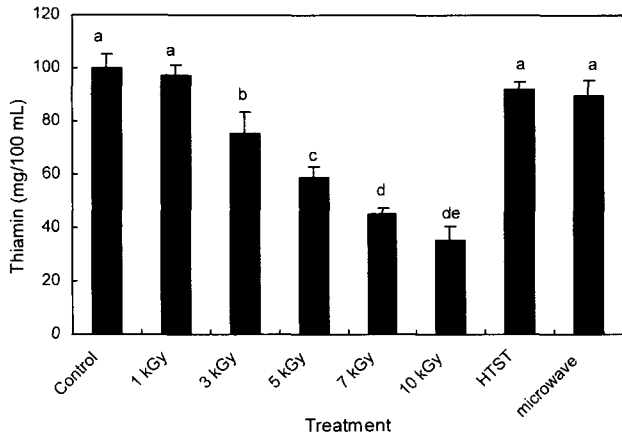


Fig. 1. Effects of irradiation, heating (72°C, 15 sec) and microwave (strong, 1 min) on thiamin contents in water solution. Different alphabetic letters on bars indicate significant difference in mean values at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

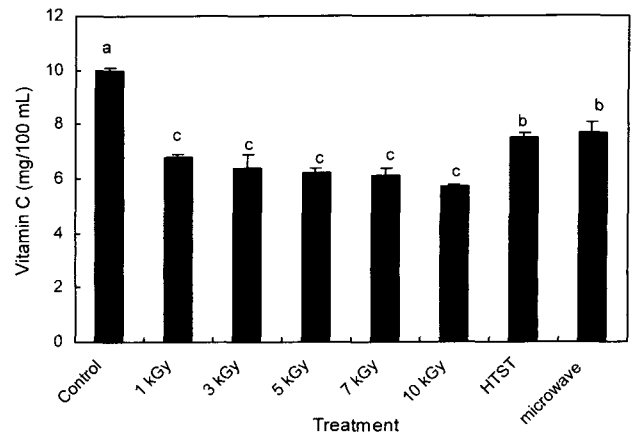


Fig. 3. Effects of irradiation, heating (72°C, 15 sec) and microwave (strong, 1 min) on vitamin C contents in water solution. Different alphabetic letters on bars indicate significant difference in mean values at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

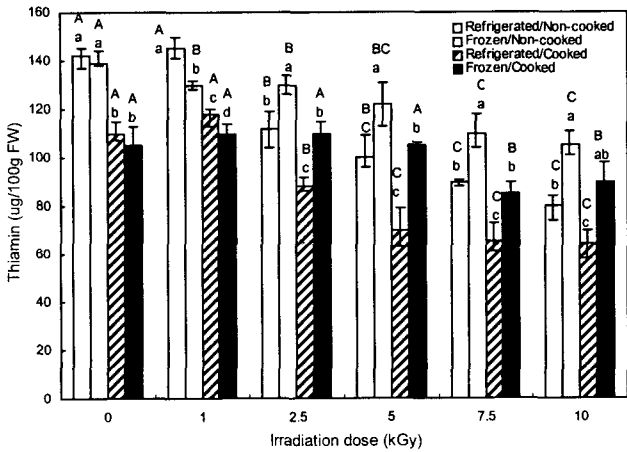


Fig. 2. Effects of irradiation, temperature condition and cooking on the thiamin contents in chicken breast. Different alphabetic letters on bars indicate significant difference in mean values at p<0.05 by Duncan's multiple range test; A~C for irradiation dose level under the same treatment and a~d for refrigerated or frozen during irradiation or cooked or non-cooked samples at each irradiation dose.

마쇄된 쇠고기를 질소 충전 캔에 밀봉한 후 10 kGy의 전자선을 조사했을 때 티아민의 손실율은 실온에서 65%였고, -10°C에서는 24%, -20°C에서는 12%, -75°C에서는 5%였다는 연구보고(18)도 본 연구 결과를 뒷받침한다. 또한, 유제품을 질소 충전캔에 밀봉하여 -78°C에서 40 kGy의 선량으로 조사했을 때 요거르트 바와 탈지분유는 약 25%의 티아민 손실이 발생되었으나 아이스크림과 모자렐라 치즈, 체다치즈의 티아민 함량은 조사에 의해 영향을 받지 않았다는 연구보고(19)도 있어 같은 식품군에 속하는 식품이라도 식품의 종류에 따라 방사선 조사시 다양한 효과를 나타낼 수 있다.

또한 가열한 시료의 경우 비조사 시료나 조사 시료 모두 비 가열 시료에 비해 티아민 함량이 약 15~25% 정도 유의적으로 감소되었다. 그러므로 조사선량에 따라 나타나는 영향은 식품에 대한 온도제어나 포장 등 여러 처리방법을 이용함

으로써 티아민의 감소를 최소화시킬 수 있고, 또 식품의 환경 즉, 산소, 물, 온도 등 조사에 영향을 주는 요소들을 어떻게 처리하는가에 따라 서로 다른 결과를 가져온다는 보고들을 뒷받침 한다. 한편, 방사선 조사와 가열처리의 티아민 보유량 비교 연구에서 방사선 조사 살균 돼지고기가 가열처리 살균 돼지고기보다 티아민 보유량이 더욱 높았다는 연구 결과도 있다(20).

귤과 딸기의 비타민 C 함량 변화

우선 티아민 C 순수용액에 대한 방사선 조사 결과에서 1 kGy 이상 10 kGy의 방사선량의 범위내에서는 선량에 따른 차이 없이 조사군이 대조군의 3분의 2 수준으로 티아민 B₁이 감소되었고 72°C 열 처리군과 마이크로웨이브 처리군에 비해 더 유의적으로 감소가 나타났다.

비타민 C는 방사선 조사에 대한 감수성이 높은 비타민 중 하나이다. 비타민 C의 주요 급원 식품으로는 신선한 과일, 과일쥬스, 채소, 감자류 등이 있다. 그러나, 일반적으로 이러한 식품은 고선량 조사시 관능적으로 바람직하지 않은 변화를 유발하므로 방사선 조사를 하지 않거나 혹은 저선량 조사를 함으로서 티아민 C 함량에 큰 영향을 미치지 않게 하는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 식품에 대해 저선량 및 고선량의 방사선 조사를 병행하였는데, 먼저 귤의 고선량조사와 72°C에서 15초 가열 및 1분간의 '강'출력에서의 마이크로웨이브 처리의 영향을 살펴보면 5 kGy의 방사선 조사에 의해 평균 16%, 72°C 가열에 의해 약 19%, 마이크로웨이브 처리에 의해 약 14%의 감소를 나타내었다(Fig. 4). 5 kGy까지는 가열이나 마이크로 웨이브 처리와 함께 티아민 C의 유의성 있는 손실은 없었으나 7 kGy이상에서는 비조사군에 비해 유의적인 감소가 나타났으며 10 kGy 조사에 의해 24%의 감소를 보였다. 한편, 딸기는 비조사군보다 조사군이 약 10~15%의 티아민 C 감소를 보였으나 무엇보다도 딸기의 품종 및 원산

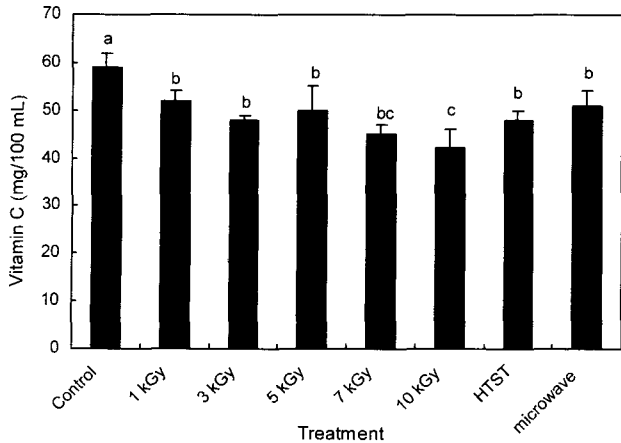


Fig. 4. Effects of irradiation, heating (72°C, 15 sec) and microwave (strong, 1 min) on vitamin C contents in mandarin orange.

Different alphabetic letters on bars indicate significant difference in mean values at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

지에 따라 비타민 C의 함량이 $\pm 25\%$ 정도의 차이를 보였다 (Fig. 5). 현재 딸기는 저장성 증진을 목적으로 미국 등 선진국에서는 저선량 조사가 이미 행해지고 있다. 본 연구에서도 딸기는 3 kGy까지는 비조사군과 비교할 때 비타민 C 함량의 차이가 없었다. 순수 비타민 C 용액에 대한 조사 결과는 1 kGy 조사군부터 비조사군에 비해 비타민 C 함량의 감소가 나타났고 그 이상의 선량에서는 변화가 더 일어나지 않았다 (Fig. 3). 따라서, 딸기의 비타민 C 함량은 저 선량 범위에서는 조사선량보다 품종에 따른 차이가 더 큼을 알 수 있었다.

일반적으로 조사선량이 높아짐에 따라 수용성 비타민의 손실이 증가하지만 동시에 관능적 품질 열화를 최소화 하기 위한 적절한 처리조건을 식품별로 확립하여 비타민의 보존율을 높이는 것이 중요하다. 즉, 진공포장이나 질소포장 등에 의한 방법으로 산소를 제거한 상태에서, 또한 냉장상태보다는 냉동 상태에서 방사선 조사를 행할 때(21) 조사에 민감한

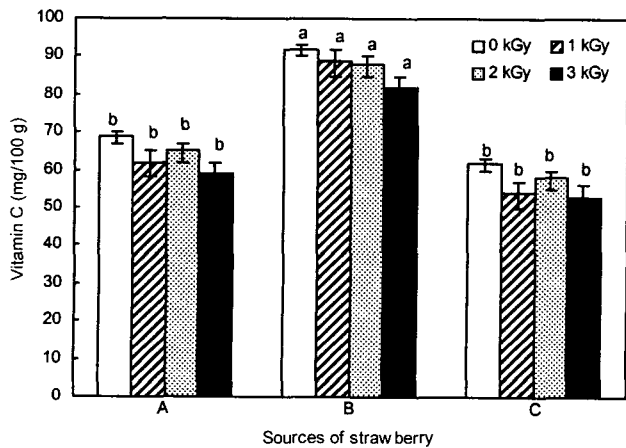


Fig. 5. Effects of irradiation on vitamin C contents of three kinds of strawberries.

Different alphabetic letters on bars indicate significant difference in mean values at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

비타민들도 보존율을 높일 수 있다고 할 수 있겠다.

요 약

방사선 조사식품의 수용성 비타민에 대한 안정성을 확인하기 위하여 방사선 조사에 가장 민감하다고 알려져 있는 수용성 비타민 B₁과 비타민 C를 택해 닭 가슴살과 딸기와 감귤에 방사선을 조사한 후 닭 가슴살에서 비타민 B₁과 딸기와 감귤에서 비타민 C의 함량변화를 조사하였다. 닭가슴살 부위의 경우 감마선 조사시 온도를 냉장과 냉동 상태로 달리하여 조사한 후 조리방법을 가열조리와 마이크로웨이브 조리로 달리한 결과 티아민 함량의 손실은 감마선 조사선량에 따른 영향도 관찰되었지만 냉장, 냉동 등과 같은 조사시의 온도 상태도 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 귤의 비타민 C 함량은 5 kGy까지는 조사에 의한 손실이 나타나지 않았고, 딸기의 비타민 C 함량은 3 kGy의 낮은 조사선량 범위 내에서는 조사선량에 의한 영향보다는 딸기의 품종에 따른 함량이 최종비타민 함량을 더 좌우하는 것으로 나타났다. 따라서 감마선 조사시 비타민의 함량의 변화에는 일정 범위의 조사선량하에서는 조사시의 온도나 식품의 조성 등이 더 큰 인자로 작용할 수 있으며, 가열에 의한 손실도 냉장보다는 냉동 처리 후 조사함에 의해 감소시킬 수 있는 가능성을 보였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 시행한 원자력 연구개발사업의 지원에 의해 수행된 연구결과 일부이며, 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. FAO/WHO. 1984. Codex general standard for irradiated foods. Codex Alimentarius Commission. Rome, Italy.
2. Amed M. 1991. Food Irradiation, Up-to-date status, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. IAEA 6626F, Vienna. 27 Nov.
3. WHO. 1981. Wholesomeness of Irradiated Food (Report of A Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee). Technical Report Series-659, 7.
4. ICGFI. 1994. Summary Report. Eleventh Meeting of the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), Denpasar, Bali, Indonesia, 2-4 Nov. 1994, FAO/IAEA/WHO, ICGFI.
5. Korea Ministry of Health and Welfare. 2002. Food Sanitation Law.
6. Korea Woman's Association. 1988. Consumer Survey on Food Irradiation. Seoul.
7. FAO/WHO. 1984. Codex general standard for irradiated foods. Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy.
8. Raica NJ, Scott J, Nielsen W. 1972. The nutritional quality of irradiated foods. Radiat Res Rev 3: 447-457.
9. Tobback PP. 1977. Radiation chemistry of vitamins. Radi-

- ation chemistry of major food components. Elias PS, Cohen AJ, eds. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. p 187-220.
10. Josephson ES, Thomas ME, Calhoun WK. 1979. Nutritional aspects of food irradiation: an overview. *J Food Process Preserv* 2: 299-313.
 11. Kraybill HF. 1982. Nutritional and biochemical aspects of food preserved by ionizing radiation. *J Home Econ* 50: 695-701.
 12. Murray TK. 1983. *Nutritional aspects of food irradiation. Recent advances in food irradiation.* Elias PS, Cohen AJ, eds. Elsevier Biomedical, Amsterdam. p 203-216.
 13. Thayer DW, Fox JB, Lakritz L. 1991. *Effects of ionizing radiation on vitamins. Food irradiation.* Thorne S, ed. Elsevier Science Publishers, Barking, UK. p 285-325.
 14. Fox JB Jr, Ackerman SA, Thayer DW. 1992. Fluorometric determination of thiamin vitamers in chicken. *J Assoc Off Anal Chem* 75: 346-354.
 15. Albrecht JA, Schafer HW. 1990. Comparison of two methods of ascorbic acid determination in vegetables. *J Liquid Chromatogr* 13: 2633-2641.
 16. Statistical Analysis system. 1985. *User's Guide: Statistics.* Version 5 edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
 17. Diehl JF. 1992. Food irradiation: is it an alternative to chemical preservatives? *Food Addit Contam* 9: 409-416.
 18. Wilson GM. 1959. The treatment of meats with ionising radiation. II. Observations on the destruction of thiamin. *J Sci Food Agric* 10: 295-300.
 19. Dong FM. 1989. Effects of gamma-irradiation on the contents of thiamin, riboflavin, and vitamin B₁₂ in dairy products for low microbial diets. *J Food Process Preserv* 13: 233-244.
 20. Thomas MH. 1957. Effect of radiation and conventional processing on the thiamin content of pork. *J Nutr* 62: 107-118.
 21. Yook HS, Byun MW. 2001. Nutritional safety of food irradiated with high dose. *Food Indus Nutr* 6: 54-59.

(2003년 3월 27일 접수; 2003년 8월 9일 채택)