

방사선 조사에 의한 감귤의 β -Carotene, 멸치의 비타민 D₃ 및 쇠고기의 α -Tocopherol의 함량변화

김신희¹ · 육홍선¹ · 변명우² · 정영진^{1*}

¹충남대학교 식품영양학과

²한국원자력연구소 방사선식품·생명공학연구팀

Effects of Gamma Irradiation on the Content of β -Carotene in Jeju Orange, Vitamin D₃ in Anchovy and α -Tocopherol in Beef

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

Gamma irradiation treatment brings about biochemical changes that could affect nutritional quality of food. This study was conducted to examine the content of β -carotene in Jeju orange, vitamin D₃ in anchovy and α -tocopherol in beef. β -Carotene content of Jeju orange was not affected by irradiation of 5 and 10 kGy. In anchovy, vitamin D₃ content was dose-dependently increased to 109.30% and 125.25% of original content by irradiation of 5 and 10 kGy, respectively. α -Tocopherol content in beef with high fat was progressively reduced by 17% of original value with irradiation of 1 kGy and by 84% with 10 kGy. It could be concluded that α -tocopherol might be most vulnerable to irradiation, while vitamin D₃ is very stable against irradiation within 10 kGy of gamma irradiation.

Key words: gamma irradiation, β -carotene, vitamin D₃, α -tocopherol, Jeju orange, anchovy, beef

서 론

1960년대부터 감마선 조사 처리는 주로 농산물의 저장기간을 늘리기 위한 목적으로 받아억제, 속도지연 등에 활용되었으며, 1980년대 이후에는 식중독 방지 등의 식품 위생화를 위하여 이 기술을 이용해 왔다. 이러한 방사선 조사식품에 대한 영양학적 및 독성학적 안전성 평가에 대해서는 1950년대 이래 조사식품의 안정성에 대한 다각적인 연구가 많이 수행되어 왔음에도 불구하고 이들 식품의 안전성에 대한 찬반 논란이 끊임없이 이어져 오고 있어(1,2) 조사식품의 안전성 확인을 위한 연구는 지속적으로 요구되고 있다. IAEA, FAO, WHO, FDA 등 국제기구에서도 과거 30년간 많은 검토가 행하여졌으며 특히, 1980년대에는 식품의 방사선 조사에 대한 국제기구의 공동연구를 통하여 10 kGy의 선량으로 조사된 모든 식품은 독성학적으로 안전하며 영양학적, 미생물학적으로도 문제가 되지 않는다고 공표한 바 있다(3).

이와 같이 조사식품에 대한 안정성을 증명하기 위해 수많은 연구들이 수행되었으나 방사선 조사 효과에 대한 지용성

비타민에 관한 연구들 중 β -carotene의 경우 다양한 제품에서 상당히 다양한 결과를 보였다. 감자를 0.1 kGy로 조사 후 6개월 저장시 β -carotene 함량이 50%까지 감소되나(4) 2.45 kGy로 조사된 만다린과 파인애플에서는 손실이 나타나지 않았다고 하였다(5). 밀가루를 1 kGy 조사 시 β -carotene이 2~7%로 매우 적은 손실율을 보였으며(6), 파프리카를 5 kGy로 조사한 후 250일간 저장하였을 때 손실이 나타나지 않아서 수분함량이 적은 식품에서는 β -carotene의 손실이 적었다고 하였다(7). 생우유나 농축유에서 carotene이 비타민 A보다 조사 저항성이 크다는 보고(8)가 있으며 건조 파셀리를 20 kGy까지의 선량으로 조사했을 때 총 β -carotene 함량이 감소되지 않았고 trans형에서 cis-이성체로의 전환이 유의적으로 일어나지 않았다고 하였다(9). Sweet basil, artichoke rosemary를 30 kGy까지 조사했을 때 조사구가 비조사구에 비해 β -carotene 함량이 약간 낮았으나 조사로 인해 β -carotene의 분해가 일어나는지는 확실치 않다고 하였다(10).

비타민 D의 경우에는 식품내의 비타민 D의 안정성에 관한 연구는 적으나, 일반적으로 안정성이 높다고 알려져 있

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

다. 비타민 E, α -tocopherol은 지용성 비타민 중 가장 조사에 예민하여 주요 급원인 식물성 기름과 유지류 제품은 불쾌취 때문에 이들 식품은 조사에 적합하지 않다. 비타민 E의 조사에 대한 민감성은 산소 존재여부에 따르는데, 1 kGy로 rolled oat를 조사하여 6개월간 저장 시 공기 속에 저장한 경우 44% 손실, 질소조건하에서는 16%의 손실을 보였고 표면적이 클수록 손실량도 컸다고 하였다(11).

순수용액상태에 있는 지용성 비타민의 감마선 조사 시의 함량변화를 조사한 연구에서 질소충진 상태 하에서는 carotene, 비타민 A, E, D, K의 순으로 민감도를 나타내었고, 산소 존재 하에서는 carotene, 비타민 E, A, D, K의 순으로 민감도가 나타나 특히 비타민 E가 비타민 A보다 조사 시 산소 존재에 취약하다고 했다. 비타민 D와 비타민 K는 산소 존재 시 더 안정한 것으로 나타났다고 하였으며 조사에 의한 두 비타민의 파괴는 주로 alkyl radical이나 수소이온에 의한 환원반응을 통해 일어나는 것 같다고 하였다(12). 이와 같은 연구결과들도 비타민의 종류나 식품에 따라 방사선 조사에 의한 비타민의 변화량이 다르고 조사선량이나 조사조건은 물론 같은 식품에 있어서도 서로 다른 경향을 나타낸다. 따라서 조사에 의한 비타민 함량 변화율은 식품군별로 일반화 할 수가 없을 뿐 아니라 외국에서의 결과를 우리나라에 적용하는 것은 무리가 있으므로 우리 국민들의 상용 식품 중 특히 조사 가능 품목에 대한 연구가 요구된다. 그러나 현재까지 우리 상용 식품에 대한 방사선조사에 의한 비타민 함량의 변화를 다룬 연구는 닭고기와 감귤 및 딸기에서 비타민 B₁과 비타민 C 함량을 다룬 연구(13)가 한편 있을 뿐이다. 이에 본 연구에서는 지용성 비타민 중에서 비타민 A의 전구체인 β -carotene, 비타민 D₃와 α -tocopherol을 택해 순수 비타민과 함께 각기 이들을 비교적 많이 함유하고 있는 귤, 멸치, 쇠고기의 비타민 함량을 알아보고자 현재 세계적으로 시행되고 있는 각 식품별 선량에 근거하여 최대 10 kGy까지 방사선 조사 후 해당 비타민의 함량변화를 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 식품재료는 지용성 비타민 중 비타민 A의

전구체인 β -carotene, 비타민 D₃ 및 α -tocopherol의 분석을 위해 각각 귤, 멸치, 쇠고기를 사용하였다. 분석에 사용된 식품은 모두 국내산으로 인근 대형 마트에서 구입하였다.

감마선 조사

시료 중 귤과 멸치의 감마선 조사는 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설 IR-70 gamma irradiator 이용하여 20±1°C에서 10 kGy/h의 선량율로 흡수선량이 5 kGy와 10 kGy가 되도록 조사하였고, 쇠고기는 1, 2.5, 5, 7.5, 10 kGy가 되도록 조사하였다. 흡수선량의 확인은 dosimeter를 사용하여 총 흡수선량의 오차를 계산하였다. 감마선 조사를 위한 3종류의 시료(귤, 멸치, 쇠고기) 포장은 100 g 단위로 폴리에틸렌 필름의 접합포장재를 사용하여 합기 포장하였고, 감마선 조사된 시료 중 귤은 과피를 제거하고 과육만을, 나머지 시료는 본래 상태대로 -20°C에 보관 후 실험에 사용하였으며 각 시료에 대한 영양소의 분석은 3회 반복하였다.

비타민의 분석

귤에서 비타민 A의 전구체인 β -carotene : 시료의 β -carotene 함량은 식품공전(14)에 제시된 비타민 A의 분석 방법에 준하였다. β -Carotene을 분석하기 위해 시료를 잘 섞어 마쇄하여 10 g을 50 mL 지방병에 넣고 ethanol 30 mL, 10% pyrogallol/ethanol용액 1 mL, KOH 용액 3 mL을 가해 혼합 후 90°C water bath에서 30분간 검화하였다. 방냉 후 분액여두로 옮기고 증류수 30 mL을 가하여 격렬히 혼합 후 방치하여 층분리를 한다. 물층은 다른 분액여두에 옮기고 petroleum ether 30 mL씩 2회 추출하여 petroleum ether층을 모두 합한 후 무수황산 나트륨을 이용해 petroleum ether층을 탈수하여 감압농축하였다. n-Hexane으로 농축물을 용해하고 여과하여 HPLC 시험용액으로 사용하였다. HPLC 분석조건은 Table 1에서와 같다.

멸치의 비타민 D₃ : 시료의 비타민 D₃ 함량은 식품공전(14)에 제시된 방법에 준하였다. 비타민 D₃를 분석하기 위해 시료 약 5 g을 검화용 플라스크에 취한 후 10% ethanolic pyrogallol 40 mL, 90% KOH 10 mL을 가하여 90°C water bath에서 2시간 동안 환류시켰다. 급냉 후 100 mL 벤젠을 정확히 가하고 검화 플라스크를 잘 흔들어 준 후 분액여두에

Table 1. HPLC conditions for analyses of β -carotene in Jeju orange, vitamin D₃ in anchovy and α -tocopherol in beef

	β -Carotene	Vitamin D ₃	α -Tocopherol
Instrument	Sykam S 1121	Sykam S 1121	Waters 2690
Detector (wavelength)	Waters 484 UV (UV 450 nm)	Jasco UV 970 (UV 254 nm)	Flourescence EX 289 nm-EM 335 nm
Column	3.9×150 mm (Waters Novapak Silica)	3.9×150 mm (Waters Novapak Silica)	25 cm×4.6 id. (10 μ M spherisorb ODS 2)
Flow rate	1.0 mL/min	1.5 mL/min	1.8 mL/min
Mobile phase	n-Hexane/Isopropanol (97/3, v/v)	0.4% isopropanol/hexane	Methanol : Water (97 : 3)
Injection volume	20 μ L	200 μ L	20 μ L

옴긴 다음 1 N KOH 50 mL을 가하여 진탕 후 층 분리가 되도록 방치하였다. 상층액을 취해 0.5 N KOH 50 mL을 가하여 혼합 후 하층을 제거하였다. 벤젠층을 증류수로 중성이 되도록 3회 이상 세척하고 분리된 벤젠층을 여과지로 여과하여 여액 80 mL을 40°C 이하에서 농축하였다. 여기에 아세트니트릴 : 메탄올(1:1) 1 mL을 가하여 200 μ L를 HPLC에 주입하였다. HPLC 분석조건은 Table 1에 나타내었다.

쇠고기의 α -tocopherol: 본 실험에 사용된 한우 암소육(*M. Semitendinosus* and *Longissimus dorsi*)의 α -tocopherol의 분석을 위해 시료를 잘 섞어 마쇄하여 1 g을 칭량해 10 mL 마개달린 test tube에 넣은 후 0.5% ethanolic ascorbic acid 5 mL와 60% potassium hydroxide 1 mL를 첨가하고 질소가스를 넣은 후 뚜껑을 닫았다. 이를 중탕해 끓인 후 매 5분마다 흔들며 주면서 20분 동안 계속 끓인 후 약 30°C까지 냉각시켰다. 다시 2 mL 증류수를 가한 후 잘 흔들어 섞고 3 mL hexane을 가하고 40초 동안 강하게 흔들 후 2,500 rpm에서 30분간 원심분리하였다. 이때 혼합물이 두 층으로 분리되는데 비타민이 포함된 상등액 2 mL를 취하여 40°C에서 질소가스로 농축건조시킨 후 얼음물에서 냉각시켰다. 여기에 acetone 20 μ L를 첨가해 잘 섞어 HPLC로 분석하였다. HPLC 분석조건(15)은 Table 1과 같다.

비타민 A, D₃, α -tocopherol의 순수용액 조제, 감마선 조사, 비타민 함량 분석: 실험에 사용된 3종의 지용성 비타민 용액의 농도는 비타민 A, D₃, α -tocopherol은 100 mg%이고 방사선 조사는 10만 Ci Co-60 감마선 조사시설을 이용하였고 조사 조건은 실온(20±1°C)에서 실시하였으며 시간당 2 kGy의 속도로 총 조사선량을 1, 3, 5, 7, 10 kGy로 하였다. 가열처리구는 water bath상에서 72°C에서 15초 (HTST: high temperature-short time) 처리하였다. 마이크로웨이브처리구는 전자레인지(Microchef RE-778BR, Samsung, Korea)를 이용하여 출력은 강에서 1분간 실시하였다. 3종의 지용성 비타민 순수용액의 감마선 비처리구 및 처리구의 일정량을 100 mL의 methanol : water(97 : 3) 혼합용액으로 정용한 후 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 methanol : water(97 : 3)를 사용하였으며 이동속도는 1.8 mL/min, 주입량은 20 μ L, 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.

결과 및 고찰

귤의 β -carotene

귤을 방사선 조사 후 β -carotene 함량을 분석한 결과는 Fig. 1에서와 같다. 귤의 β -carotene의 함량(μ g/g)은 비조사시 5.51±0.11, 5 kGy로 조사 시 6.06±0.70, 10 kGy로 조사 시 5.59±0.56으로 나타나 조사시료가 비조사시료에 비해 약간 증가하는 경향을 보였으나 유의적이지는 않았다. β -Carotene은 고도의 불포화 사슬로 인해 매우 불안정하여 열, 산소, 산, 광선, 저장방법 및 보관시간 등에 의해서 β -carotene 함량이 감소하고 이성화반응이 일어날 수도 있다고 하였다(16). 자연에 존재하는 carotenoids는 대부분 안정한 trans 형으로 되어 있으나 식품처리과정 및 저장동안 cis 형으로 이성화 반응이 일어날 수 있으며 이것은 생체이용율에서 바람직하지 않은 특성을 띄게 된다(17). 한편, 건조 파슬리에 20 kGy로 감마선 조사 시 총 β -carotene과 retinol의 함량을 변화시키지 않았으며 이들의 이성체인 all-trans β -carotene의 파괴나 9-cis β -carotene의 형성을 유도하지 않았다(9). 국제 식품조사 자문단(International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI)에 의하면 감마선 조사는 비타민 A의 전구체인 β -carotene이나 기타 carotenoids의 함량에 영향을 미치지 않았다고 보고하였으며(18), Koseki(10)도 식용 허브에 10, 20, 30 kGy의 선량으로 조사하였을 때에도 총 β -carotene 함량에 현저한 변화는 없다고 하였다. 이상의 결과로서 조사선량이 낮은 경우 수분함량의 영향을 덜 받으리라고 보여지나 본 실험결과, 귤의 수분함량이 89% 정도로 높은데도 10 kGy까지의 방사선 조사에 의해 귤의 β -carotene의 함량의 감소가 일어나지 않음을 볼 때 귤의 β -carotene은 수분함량과 무관하게 방사선 조사 저항성이 크거나, 귤, 오렌지, 파인애플(5) 등에는 비타민 C 등 β -carotene의 방어진자가 있기 때문인 것으로 생각된다.

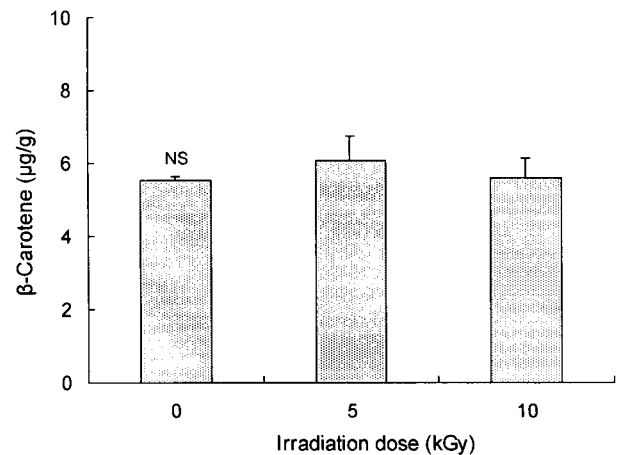


Fig. 1. Effect of irradiation on β -carotene of Jeju orange. NS represents statistically not significant.

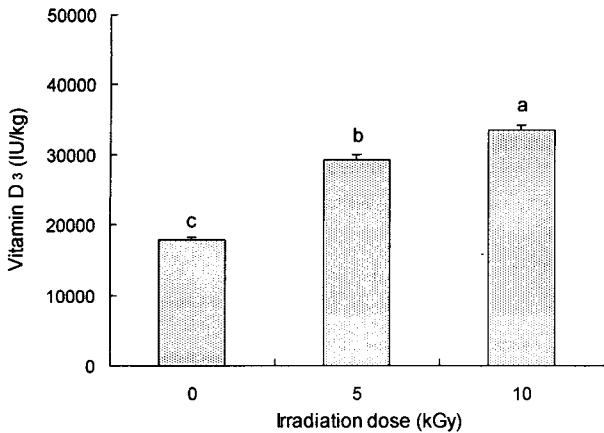


Fig. 2. Effect of irradiation on vitamin D₃ content of anchovy. Different alphabetic letters on bars indicate statistically difference in mean values at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

멸치의 비타민 D₃의 함량변화

식품 중 멸치에 대한 방사선 조사 후 비타민 D₃의 함량 변화는 Fig. 2에서와 같다. 멸치의 비타민 D₃ 함량(IU/kg)은 비조사시 17834.73±435.29, 5 kGy 조사 시 19493.60±637.61, 10 kGy 조사 시 22338.47±666.04로 조사선량에 따라 5 kGy 조사 시 109.30%, 10kGy 조사 시 125.25%로 증가하였다(p<0.05).

비타민 D의 주요 급원식품에는 생선과 어유 등이 있으며 식품속의 비타민 D는 일반적으로 방사선 조사에 대해 안정하다고 알려져 있다(19). 반면, Knapp와 Tappel(12)의 보고에서는 지방의 불활성 스테롤의 일부가 비타민 D와 유사한 물질로 전환될 수 있다고 하였다. 본 연구에서도 방사선 조사에 의한 비타민 D의 함량 증가는 위에서 언급한 바와 같이 불활성 스테롤로부터 비타민 D로의 전환을 생각해 볼 수 있고 조사구나 비조사구의 개체 시료의 차이로 인한 해당 비타민 함량의 차이 때문이거나 지방내의 비타민 E 등 기타 protector들의 함량 차이 때문일 수도 있다고 사료된다.

쇠고기의 α-tocopherol 함량변화

쇠고기의 고지방 부위인 등심과 저지방 부위인 사태에 방사선 조사 후 α-tocopherol의 함량을 측정한 결과는 Fig. 3에서와 같다. 등심육의 경우 비조사구에 비해 1 kGy조사구는 약 17%의 감소율을 보였으나 조사선량의 증가에 따라 감소율이 점차 증가하여 고선량인 10 kGy 조사구의 경우 약 84%의 감소율을 나타냄으로서 조사선량의 증가에 따라 α-tocopherol의 감소가 크게 일어났다. 그러나 지방함량이 비교적 적은 사태육의 경우에는 10 kGy 조사구의 경우 비조사구에 비해 약 13%의 감소율을 보였을 뿐이다. 본 실험에서 나타난 바와 같이 지방함량이 높은 등심육의 경우 방사선 조사에 의해 α-tocopherol의 분해가 크게 일어남을 알 수 있었다. 이렇듯 비타민 E가 조사에 대한 감수성이 크지만,

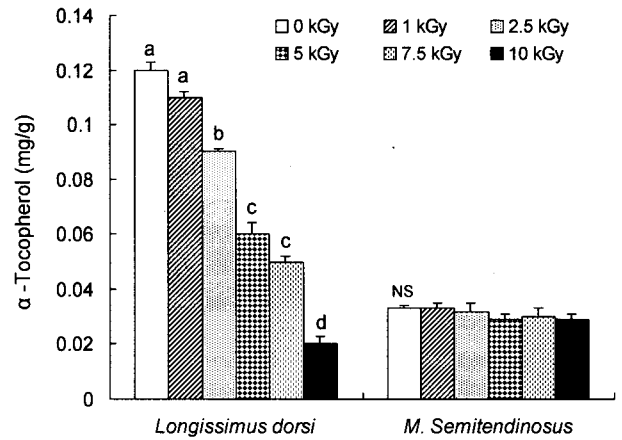


Fig. 3. Effect of irradiation on α-tocopherol content in two different parts of beef. Different alphabetic letters on bars indicate statistically difference in mean values at p<0.05 by Duncan's multiple range test. NS represents statistically not significant.

비타민 E의 주요 급원은 종자류, 식물성기름, 마가린, 버터 등으로 이러한 식품들은 미생물학적으로 문제가 없어, 방사선 조사를 하지 않고도 일정기간동안 저장이 가능할 뿐만 아니라 대부분의 고지방 식품들은 고선량으로 조사했을 때 관능검사에서 바람직하지 않은 변화를 가져오기 때문에 거의 방사선 조사를 하지 않고 있다. 또한, 식품에 방사선 조사를 실시할 때 포장 내 대기 중의 산소 존재 여부가 특히 비타민 E의 손실에 영향을 미친다고 이미 알려져 있으며 30 kGy의 선량으로 질소 존재하에서 조사된 쇠고기의 경우, 비타민 E의 손실이 전혀 발견되지 않지만 일반 대기하에서 조사된 경우 비타민 E가 37%나 손실되었다는 보고가 있다(20). 50 kGy로 진공포장 상태로 조사된 병아리 사료는 비타민 E의 10% 손실이 있었으나 합기포장 하에서는 약 51%의 비타민 E의 손실이 나타났다는 연구보고도 있다(21).

일반적으로 비타민 손실이 조사선량에 따라 증가하지만 관능적 품질 열화를 최소화 하기 위하여 적절한 가공조건을 설정해야만 하므로 이러한 점을 고려한 식품별 적정 가공조건을 확립하여 비타민의 잔존율을 높이는 것이 중요하다. 즉, 진공포장이나 질소포장 등에 의해 산소를 제거하고, 식품의 표면적을 줄이고, 냉장이하 냉동조건에서 방사선 조사를 행함으로써 방사선 조사에 민감한 비타민의 보존을 높이는 것이 필요하다 하겠다(22).

지용성 비타민 용액

지용성 비타민 순수용액에 대한 방사선 조사 결과는 Fig. 4~6에서와 같다. 먼저 비타민 A의 경우 1, 3, 5, 7, 10 kGy로 조사 후 무처리 대조구의 비타민 A 함량 100 mg%와 비교 시 각각의 비타민 A 함량은 95.42, 88.29, 69.35, 59.26, 47.27 mg%로 조사선량에 비례하여 감소하였다. 마이크로웨이브 처리구의 경우는 105.39 mg%, 가열처리구는 95.32 mg%로 무처리 대조구 100 mg%에 비해 별로 차이가 없었

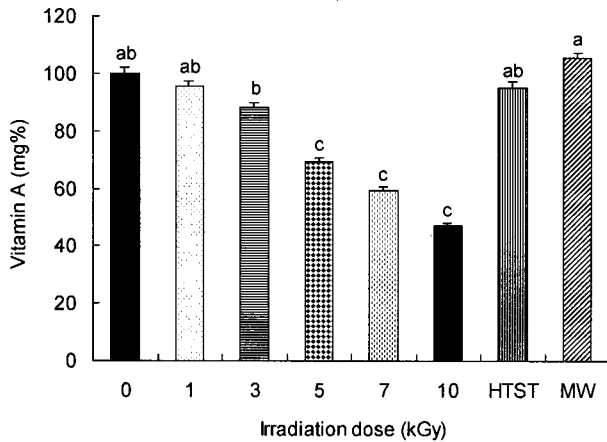


Fig. 4. Effect of irradiation, heating and microwave on vitamin A contents in methanol/water solution. Different alphabetic letters on bars indicate statistically difference in mean values at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. HTST: High temperature-short time, 72°C, 15 sec. MW: Microwave, strong, 1 min.

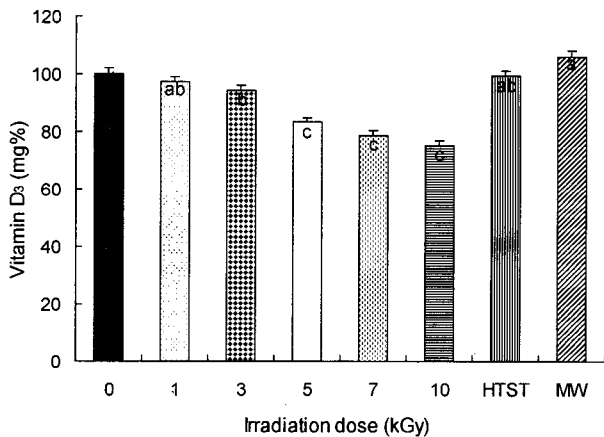


Fig. 5. Effect of irradiation, heating and microwave on vitamin D₃ contents in methanol/water solution. Different alphabetic letters on bars indicate statistically difference in mean values at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. HTST: High temperature-short time, 72°C, 15 sec. MW: Microwave, strong, 1 min.

다(Fig. 4).

비타민 D₃에서는 1, 3, 5, 7, 10 kGy로 감마선 조사 후 무처리 대조구의 비타민 D₃ 함량 100 mg%와 비교 시 각각의 비타민 D₃ 함량은 97.28, 94.38, 83.27, 78.69, 75.37 mg%로 비타민 A에서와 같이 조사선량에 비례하여 감소하였으나 비타민 A에 비해 감소율은 적었다. 마이크로웨이브 처리구의 경우는 99.38 mg%, 가열처리구에서는 106.27 mg%로 나타나 무처리 대조구 100 mg%와 비교 시 함량의 차이를 보이지 않았다(Fig. 5).

α -Tocopherol은 1, 3, 5, 7, 10 kGy의 감마선 조사 후 무처리 대조구의 비타민 함량 100 mg%와 비교 시 각각 85.60, 73.3, 65.60, 36.33, 0 mg%를 나타냈다. 마이크로웨이브 처리

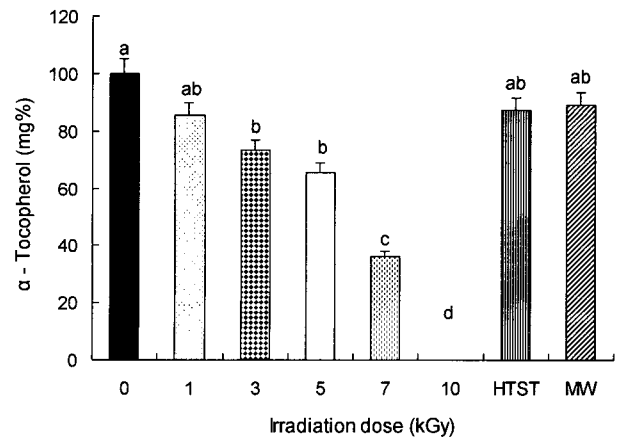


Fig. 6. Effect of irradiation, heating and microwave on α -tocopherol contents in methanol/water solution. Different alphabetic letters on bars indicate statistically difference in mean values at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. HTST: High temperature-short time, 72°C, 15 sec. MW: Microwave, strong, 1 min.

구의 경우는 무처리 대조구 100 mg%에 비해 89 mg%, 가열처리구도 87.33 mg%로 두 처리구 모두 10% 이상 감소를 나타내었으나, 무처리구와 유의적인 차이는 없었다.

이상의 결과로 본 실험에 사용된 지용성 비타민 A, D₃, α -tocopherol은 조사선량에 비례하여 함량이 감소하는 것으로 나타났으나 비타민 D₃는 지용성 비타민 중 조사에 가장 안전한 비타민으로 나타났다. 특히 α -tocopherol의 경우는 10 kGy 처리구에서 전량 감소를 보여 지용성 비타민 중 조사에 가장 취약한 비타민으로 나타났다. 3가지 지용성 비타민 모두 마이크로웨이브 처리와 가열처리구는 무처리구에 비해 유의적인 손실을 나타내지 않았다.

요 약

방사선 조사식품의 지용성 비타민에 대한 안정성을 확인하기 위하여 지용성 비타민 중 β -carotene, 비타민 D₃, α -tocopherol을 택하여 한국인의 상용 식품이면서 각각의 급원 식품인 귤, 멸치, 쇠고기에 대해 방사선조사 전후의 해당 비타민 함량을 분석하였다. 귤의 β -carotene의 함량은 조사구가 비조사구에 비해 약간 증가하는 경향을 보였으나 유의적이지는 않았다. 멸치의 비타민 D₃ 함량은 조사선량에 비례하여 5 kGy 조사 시 109.30%, 10 kGy 조사 시 125.25%로 증가하였다($p < 0.05$). 쇠고기의 α -tocopherol 함량은 고지방 부위인 등심육의 경우 조사선량에 따라 큰 폭으로 감소되어 비조사구에 비해 10 kGy 조사구에서 84%의 감소율을 보였으나, 지방함량이 비교적 적은 사태육의 경우 조사구 모두에서 비조사구 대비 약 13%의 감소율을 보였다. 순수 용액의 비타민 A, 비타민 D₃, α -tocopherol은 조사선량에 비례하여 함량이 감소하는 것으로 나타났으며 특히, 비타민 D₃는 지용

성 비타민 중 조사에 가장 안정한 비타민으로 나타났고 α -tocopherol의 경우는 10 kGy 처리구에서 전량 감소를 보여 지용성 비타민 중 조사에 가장 취약한 비타민으로 나타났다. 마이크로웨이브 처리구나 가열 처리구에서는 이들 지용성 비타민들의 손실이 거의 없었다. 이상의 결과로부터 10 kGy 이내의 방사선 조사 시, 꺾은 β -carotene 함량에는 영향을 미치지 않는 것으로 보이며, 비타민 D₃의 경우는 적어도 10 kGy까지는 매우 안정함을 보여주었고 지방함량이 높은 등심육의 경우 α -tocopherol의 상당한 분해가 일어남을 알 수 있었다.

감사의 글

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

문 헌

- Ehlermann D. 2002. Where is the proof? The science? *Nutrition* 18: 755-756.
- Tritsch GL. 2002. Food irradiation: a risk not worth taking. *Nutrition* 18: 756-758.
- WHO. 1981. Wholesomeness of irradiated food. In Report of A Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series-659. Geneva, Switzerland.
- Janave MT, Thomas P. 1979. Influence of post-harvest storage temperature and gamma irradiation on potato-carotenoids. *Potato Res* 22: 365-369.
- Agneessens R, Nangniot P, Lacroix JP, Muri D. 1989. Dosage du beta-carotene dans les fruits irradiés, par chromatographie liquide a haute performance avec detection ampérometrique. *Bull Rech Agron Gembloux* 24: 85-90.
- Tipples KH, Norris FW. 1965. Some effects of high levels of gamma irradiation on the lipids of wheat. *Cereal Chem* 42: 437-451.
- 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.
- Kung HC, Gaden EE, King CG. 1953. Vitamins and enzymes in milk, effect of gamma-radiation on activity. *J Agric Food Chem* 1: 142-144.
- Katia I. 2002. Effect of gamma-irradiation on the levels of total and cis/trans isomers of beta-carotene in dehydrated parsley. *Radiation Physics and Chemistry* 63: 333-335.
- Koseki PM. 2002. Effect of radiation in medical and eatable herbs. *Radiation Physics and Chemistry* 63: 681-684.
- Diehl JF, Hasselmann C, Kilcast D. 1991. Regulation of food irradiation in the European Community: is nutrition an issue? *Food Control* 2: 212-219.
- Knapp FW, Tappel AL. 1961. Comparison of the radiosensitivities of the fat-soluble vitamin by gamma irradiation. *Agric Food Chem* 9: 430-433.
- Chung YJ, Yook HS. 2003. Effects of gamma irradiation and cooking methods on the content of thiamin in chicken breast and vitamin C in strawberry and mandarin orange. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 864-869.
- Korea Food and Drug Administration. 2002. *Food Standard Codex*. p 313-314.
- McMurray CH, Blanchflower WJ, Rice DA. 1980. Influence of extraction techniques on determination of α -tocopherol in animal feedstuffs. *J Assoc Off Anal Chem* 63: 1258-1261.
- Gross J. 1987. *Pigments in fruits*. Academic Press, London.
- Betoli R. 1998. Carotenóides e atividade pró-vitaminica A em condimentos e alterações decorrentes de dois tipos de cozimento. *MS Thesis*. FCF/USP, São Paulo.
- ICGFI. 1999. Facts about food irradiation: a series of fact sheet from the international consultative group on food irradiation. ICGFI, Vienna.
- Kilcast D. 1994. Effect of irradiation on vitamins. *Food Chem* 49: 157-164.
- Lakritz L, Fox JJ, Hampson J, Richardson R, Kohout K, Thayer DW. 1995. Effect of gamma radiation on levels of alpha-tocopherol in red meats and turkey. *Meat Sci* 41: 261-271.
- Daghir NJ, Sell JL, Mateos GG. 1983. Effect of gamma irradiation on nutritional value of lentils (*Lens culinaris*) for chicks. *Nutr Report Int* 27: 1087-1093.
- Yook HS, Byun MW. 2001. Nutritional safety of food irradiated with high dose. *Food Industry and Nutrition* 6: 54-59.

(2005년 4월 19일 접수; 2005년 7월 9일 채택)