

## 방사선 조사에 의한 Phytic Acid의 분해특성 및 항산화 활성

박희라<sup>1</sup> · 이철호<sup>1</sup> · 안현주<sup>2</sup> · 차보숙<sup>3</sup> · 변명우<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 생명공학원

<sup>2</sup>한국원자력연구소 방사선식품·생명공학 기술개발팀

<sup>3</sup>수원여자대학 식품과학부

### Radiolytic and Antioxidative Characteristics of Phytic Acid by Gamma Irradiation

Hee-Ra Park<sup>1</sup>, Cherl-Ho Lee<sup>1</sup>, Hyun-Joo Ahn<sup>2</sup>, Bo-Sook Cha<sup>3</sup> and Myung-Woo Byun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-071, Korea

<sup>2</sup>Radiation Food Science and Biotechnology Team, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Food Science, Suwon Women's College, Suwon 441-748, Korea

#### Abstract

Radiolytic characteristics of phytic acid by gamma irradiation were investigated, and the antioxidative activity between irradiated phytic acid and commonly used antioxidants including ascorbic acid, tocopherol and butylated hydroxyl anisole (BHA) was evaluated. Phytic acid sodium salt dissolved in a deionized distilled water was irradiated at 0, 5, 10, 15 and 20 kGy. It was found that the level of irradiation had an effects on the degree of degradation. After irradiation, stable DPPH radical scavenging capacity of phytic acid was newly observed, and it was significantly increased by dose-dependent manners ( $p < 0.05$ ). Antioxidant activity of phytic acid in the oil models was higher than that of the other antioxidant during storage, and phytic acid (400  $\mu\text{g/mL}$ ) irradiated at 20 kGy especially showed the highest antioxidative ability among the antioxidants tested during 3 weeks. Results indicated that irradiation induced the radiolysis of phytic acid in an aqueous model system, and the antiradical and antioxidative activities of irradiated phytic acid increased.

**Key words:** gamma irradiation, phytic acid, antiradical activity, antioxidant activity

#### 서 론

Phytic acid는 곡류, 두류 및 채소 등에 존재하는 비영양소 혹은 체내대사 저해성분으로서 밀과 쌀 등에는 외부막과 과피에 존재하며, 옥수수의 배아, 두류의 경우에는 일정한 분포위치를 갖지 않는 것이 특징이다(1-3). Phytic acid는 구조적으로 inositol ring의 여섯개 hydroxy기에 각각 하나의 인산이 에스테르 결합을 한 화합물이며, myo-inositol-1,2,3,4,5,6-hexakisphosphate(IP6)로 정의된다. 따라서 화학구조상 노출된 인산기의 음전하 성질 때문에 phytic acid 함유 식품을 섭취시 체내에서 필수미네랄( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  등)을 흡착하여 불용성인 phytate-mineral 복합체를 형성, 필수미네랄의 이용성 저하 및 단백질 흡수 저하와 같은 비영양적 대사에 대한 연구가 보고되어 왔다(4-6). 하지만 최근에는 지방산화 억제, 대장암 억제 등 항산화 및 항암 작용에 대한 보고와 담석증 치료제로서의 이용성 등과 같은 생리활성적 측면이 보고되고 있어 phytic acid의 다양한 특성에 대한 관

심이 높아지고 있다(7). Phytic acid의 항산화 작용기작은 free iron을 chelate함으로써 iron catalyzed hydroxy radical의 형성을 억제하기 때문으로 보고되고 있으며(8), phytic acid가 다량 함유된 곡류 및 야채의 섭취가 높은 사람들은 상대적으로 대장암의 발생이 적다는 역학조사 결과가 보고되고 있지만 정확한 메카니즘은 아직 확실하지 않다(9). 또한 IP3, IP4와 같은 lower inositol phosphates(각각 3, 4개의 인 함유) 등은 세포간의 반응을 조절하는 중요한 생물학적 작용을 하며, 체내에서 second messenger transduction system에 작용하는 것으로 알려져 있다(10).

방사선 조사기술은 식품의 저장 중 영양 및 관능적인 품질의 저하없이 병원성, 부패성 미생물을 없애는 가장 효율적인 방법으로 알려져 있고, 전세계적으로 그 사용이 증가하고 있는 추세이다(11). 최근에는 방사선 조사기술을 이용하여 식품 중에 들어있는 phytic acid를 포함한 비영양소군을 효과적으로 감소시켰다는 연구가 보고된 바 있다(12). Phytic acid의 중요한 역할 중 하나는 곡류, 두류의 저장시 자체 항산화

\*Corresponding author. E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr  
Phone: 82-42-868-8060. Fax: 82-42-868-8043

효과를 나타내는 것인데(13), 이러한 관점에서 볼 때 방사선 조사시 식품내 phytic acid를 저감화하는 것도 중요하지만, 동시에 phytic acid 고유의 항산화 작용을 검토하는 것은 방사선 조사기술의 이용성 측면에서 매우 중요한 문제이다.

따라서 본 연구에서는 방사선 조사에 의한 수용액 모델시스템내 phytic acid의 분해여부를 확인하고, 조사분해된 phytic acid와 일반적으로 사용되는 기존 항산화제와의 항라디칼, 항산화 활성을 비교평가하였다.

## 재료 및 방법

### 시료의 전처리 및 감마선 조사

본 실험에 사용된 phytic acid sodium salt, L-ascorbic acid, DL- $\alpha$ -tocopherol과 BHA(buthylated hydroxyl anisole)의 순수물질은 Sigma chemical Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. Phytic acid와 ascorbic acid는 증류수에 녹이고, tocopherol과 BHA는 에탄올에 녹여 각각 최종농도가 100, 200 및 400  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 농도가 되도록 조제하였다.

각 농도에 따른 phytic acid 용액은 50 mL 유리시험관에 넣은 후, 방사선 조사하였다. 방사선 조사는 한국원자력연구소(Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea) 내 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온( $14 \pm 1^\circ\text{C}$ )에서 분당 83.3 Gy의 선량율로 각각 0, 5, 10, 15 및 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter(Bruker Instruments, Rjeomstetterm, Germany)를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는  $\pm 0.2$  kGy였다.

### Phytic acid의 정량

방사선 조사 후 phytic acid의 농도는 Latta와 Eskin(14)의 방법에 의해 측정하였다. 시료 3 mL를 15 mL conical tube에 넣고 modified wade reagent(0.03%  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.3% sulfosalicylic acid 되도록 증류수에 녹임) 1 mL를 첨가하여 혼합한 후 3000 rpm에서 10분간 원심분리시키고 상층액을 spectrophotometer(Uvikon XL, Bio-Tek Instruments, Milano, Italy)를 이용하여 500 nm에서 측정하였다.

### DPPH 라디칼 소거능

DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능은 Blois(15)의 방법으로 측정하였다. 시료 1 mL에 0.2 mM DPPH radical(Sigma Co., St. Louis, MO, USA)을 1 mL 첨가하여 혼합한 후 상온에서 30분간 방치하고 spectrophotometer(Bio-Tek Instruments)를 이용하여 517 nm에서 측정된 후 라디칼 소거율(%)로 표시하였다.

### 유지모델에서의 항산화 효과

각 시료를 2% 콩기름(oil-in-water emulsion)에 첨가하여  $37^\circ\text{C}$ 에서 3주 동안 저장하면서 유지산패에 대한 항산화 활성을 측정하였다. Oil emulsion은 콩기름 2 mL, 증류수 97 mL, 유허제로 tween 20 1 mL와 각 시료 1 mL를 넣어 조제하였으며, 대조구로는 시료 대신 증류수 1 mL를 넣어 control로 사용하였다. 제조한 시료는  $37^\circ\text{C}$ 의 항온기에 3주 동안 저장하면서, 각 저장기간 동안 지방산화의 정도를 Ahn 등(16)의 방법을 이용하여 2-thiobarbituric acid reactive substance (TBARS)가를 측정하였다.

### 통계처리

시료조제 및 분석은 모두 3반복으로 행해졌으며, data는 SAS software(SAS Institute, Cary, NC)를 이용하여 General linear model procedure 분석 후, Duncan's multiple range test를 사용하여 평균값들간의 유의성을 검정하였다 ( $p < 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 감마선 조사에 의한 phytic acid의 분해

방사선 조사 후 수용액 모델시스템에서 phytic acid가 분해되는 것을 관찰할 수 있었다(Table 1). 농도 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 phytic acid 수용액은 5 kGy의 방사선 조사에 의해 70% 이상 분해되었으며, 10~20 kGy의 선량에서는 조사분해(radiolysis)가 천천히 일어나는 것으로 나타났다. 또한 농도 200 및 400  $\mu\text{g}/\text{mL}$  수준에서는 20 kGy의 방사선 조사에 의해 각각 68% 또는 11% 이상 조사분해가 일어남을 알 수 있었다. 따라서 수용액 상태에서 phytic acid의 방사선 조사분해는 용질의 농도가 높을수록 분해도가 낮은 것으로 나타났으며, 이러

Table 1. Degradation of phytic acid (%) dissolved in a deionized distilled water after gamma irradiation

Conc. <sup>1)</sup> ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	Irradiation dose (kGy)					SEM <sup>2)</sup>
	0	5	10	15	20	
100	0.00 <sup>d</sup>	72.66 <sup>cx</sup>	84.09 <sup>bx</sup>	86.77 <sup>ax</sup>	87.07 <sup>ax</sup>	0.378
200	0.00 <sup>e</sup>	11.36 <sup>dy</sup>	36.67 <sup>cy</sup>	57.25 <sup>by</sup>	68.20 <sup>ay</sup>	1.432
400	0.00 <sup>d</sup>	1.04 <sup>cdz</sup>	1.79 <sup>cz</sup>	3.32 <sup>bz</sup>	11.50 <sup>az</sup>	0.340
SEM <sup>3)</sup>	-	0.615	1.739	0.601	0.291	

<sup>1)</sup>The concentrations (100, 200, and 400  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) of phytic acid in deionized distilled water.

<sup>2)</sup>SEM: Standard error of the mean (n=15).

<sup>3)</sup>SEM: Standard error of the mean (n=9).

<sup>a-d</sup>Values with different letters within a row differ significantly ( $p < 0.05$ ).

<sup>x-z</sup>Values with different letters within a column differ significantly ( $p < 0.05$ ).

한 결과는 Ahn 등(17)의 결과와 일치하였다. Ahn 등(17)은 발암성 나이트로자민을 수용액 상태로 방사선 조사시 농도의존성을 보여 농도가 낮을수록 분해정도가 높다고 보고하였다. 일반적으로 식품의 방사선 조사시 수분은 hydroxy radical, aqueous electrons, hydrogen atom 등을 형성하게 된다. Hydroxy radical은 강력한 산화제이지만 aqueous electron과 hydrogen atom은 환원제인데, 이러한 라디칼 및 이온들은 식품내 다른 성분들의 조사분해를 유도하며, 이러한 작용은 수분 및 용질의 함량에 따라 방사선 조사분해 정도가 다르게 나타난다(18). 따라서 본 실험의 결과와 같이 용질의 함량이 증가할수록 방사선 조사분해 정도는 감소하는 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 볼 때, 방사선 조사에 의한 phytic acid의 분해는 다음과 같은 추론을 가능케 한다. 본 실험에서 phytic acid의 정량법으로 사용한 Wade reagent 분석방법은 ferric ion과 sulfosalicylic acid가 반응하여 핑크색을 형성하고, phytic acid 존재 시 ferric ion이 phytic acid의 phosphate ester와 결합하여 sulfosalicylic acid와의 반응을 저해함으로써 핑크색의 강도가 약해지는 원리로 고안된 정량법이다(13). 따라서 방사선 조사동안 이온화의 영향으로 구조적으로 phytic acid에 붙어있던 인이 제거된 것으로 사료된다. 하지만 좀더 정확한 방사선 조사분해의 기작 및 phytic acid 조사분해물의 구조적 특성을 구명하기 위해서는 더 많은 연구가 필요할 것이다. 현재 산업적으로는 동물의 사료로 이용되는 곡류 및 두류박에 미생물 유래 phytase 효소처리로 phytic acid를 가수분해시켜 인의 이용성을 증가시키는 방법이 널리 이용되고 있으며, 지금까지의 기술로는 사료의 phytic acid를 감소시키기 위한 가장 좋은 방법으로 phytase 처리에 의한 효소적 가수분해 방법이 이용되고 있다. Duodu 등(12)은 phytic acid 함량은 가열조리에 의해 분해되지 않지만 1 kGy의 방사선 조사와 병용시 확실한 감소효과(40%)를 나타내었다고 보고하여 방사선 조사의 새로운 이용성을 제시하였다. 따라서 방사선 조사기술의 이용 및 기타 효소적, 물리적 방법과의 병용처리를 할 경우 phytic acid의 효과적인 저감화에 의한 폐자원의 활용성을 증가시킬 수 있을 것으

로 기대되며, 이러한 연구를 뒷받침하기 위해선 방사선 조사된 phytic acid 조사분해물의 동정, 독성, 알러젠성, 임상연구 등의 제반연구가 요구된다.

#### 항라디칼 활성

방사선 조사 후 phytic acid의 분해정도를 확인한 후 phytic acid와 일반적으로 사용되고 있는 기존 항산화제와의 항라디칼 활성을 비교한 결과는 Table 2와 같다.

일반적으로 phytic acid는 iron과 chelate하는 성질 때문에 iron-catalyzed 산화작용을 억제하여 곡류 및 식품의 저장 동안 자체적 항산화 작용을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 또한 같은 메카니즘에 의해 식이 중 phytic acid가 체내 염증 성장 질환 및 대장암의 발생을 줄일 수 있다고 보고된 바 있지만(8,9), 항라디칼 활성에 대한 연구결과는 찾아 볼 수 없다. 라디칼 소거능을 평가할 수 있는 많은 방법중 DPPH 라디칼 소거능의 측정은 electron donor 분자에서 그에 대응하는 라디칼에 electron을 전달하는 원리를 이용하는 것이다(19). 본 실험의 결과 방사선 조사에 의해 분해된 phytic acid의 경우 DPPH 라디칼 소거능을 갖는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 방사선 조사시 phytic acid의 구조가 electron donor의 역할을 할 수 있는 형태로 구조적 치환이 일어났기 때문으로 판단되며 이를 확인하기 위해서는 방사선 조사에 의한 phytic acid 분해산물의 구조분석에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

같은 농도의 phytic acid일 때 방사선 조사선량이 증가할수록 라디칼 소거능도 유의적으로 증가하였다( $p < 0.05$ ). 기존 항산화제와의 비교실험 결과에서 농도 400  $\mu\text{g/mL}$ 의 phytic acid를 20 kGy로 방사선 조사했을 때 ascorbic acid와 유사한 수준의 라디칼 소거능을 갖는 것으로 나타났다.

따라서 방사선 조사에 의해 phytic acid의 분해를 유도할 수 있으며, 항라디칼 활성을 부여할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 항산화 활성

지방산패에 대한 phytic acid 및 각 항산화제의 항산화 활성 효과는 Table 3과 같다. 식용 유지모델에 phytic acid, ascorbic acid, tocopherol 및 BHA 등의 항산화제를 첨가하

Table 2. Comparison of DPPH radical scavenging capacity (%) between irradiated phytic acid and other antioxidants with various concentrations

Conc. ( $\mu\text{g/mL}$ )	Sample <sup>1)</sup>						
	PA0	PA10	PA20	AA	TOC	BHA	SEM <sup>2)</sup>
100	- <sup>e</sup>	8.3 <sup>dz</sup>	9.3 <sup>dz</sup>	16.2 <sup>cy</sup>	67.0 <sup>ay</sup>	48.4 <sup>bz</sup>	0.319
200	- <sup>d</sup>	28.3 <sup>cy</sup>	34.1 <sup>cy</sup>	62.7 <sup>bx</sup>	78.8 <sup>ax</sup>	64.2 <sup>by</sup>	0.753
400	- <sup>d</sup>	58.3 <sup>cx</sup>	63.9 <sup>bx</sup>	70.2 <sup>bx</sup>	79.0 <sup>ax</sup>	76.7 <sup>bx</sup>	1.215
SEM <sup>3)</sup>	-	0.56	0.84	0.75	1.45	1.18	

<sup>1)</sup>PA0, PA10, PA20: Phytic acid irradiated at 0, 10, and 20 kGy, AA: Ascorbic acid, TOC: Tocopherol, BHA: Butylated hydroxyl anisole.

<sup>2)</sup>SEM: Standard error of the mean (n=18).

<sup>3)</sup>SEM: Standard error of the mean (n=9).

<sup>a-e</sup>Values with different letters within a row differ significantly ( $p < 0.05$ ).

<sup>x,y</sup>Values with different letters within a column differ significantly ( $p < 0.05$ ).

**Table 3. TBARS value of soybean-oil emulsion prepared with irradiated phytic acid and other antioxidants with various concentrations during storage for 3 weeks at 37°C**

Conc. (µg/mL)	Sample <sup>1)</sup>							SEM <sup>2)</sup>
	Control	PA0	PA10	PA20	AA	TOC	BHA	
0 week	0.01							
100		0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.005
200		0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.003
400		0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.03	0.009
SEM <sup>3)</sup>		0.012	0.008	0.010	0.007	0.005	0.002	
1 week	0.79							
100		0.26 <sup>x</sup>	0.23 <sup>x</sup>	0.21 <sup>x</sup>	0.26	0.30	0.21	0.063
200		0.16 <sup>by</sup>	0.14 <sup>by</sup>	0.14 <sup>by</sup>	0.28 <sup>a</sup>	0.23 <sup>a</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.042
400		0.14 <sup>by</sup>	0.15 <sup>by</sup>	0.13 <sup>by</sup>	0.21 <sup>a</sup>	0.15 <sup>b</sup>	0.16 <sup>b</sup>	0.015
SEM <sup>3)</sup>		0.026	0.029	0.006	0.024	0.073	0.069	
2 week	0.97							
100		0.19 <sup>x</sup>	0.21	0.20 <sup>x</sup>	0.29	0.27	0.23 <sup>y</sup>	0.057
200		0.14 <sup>by</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0.11 <sup>by</sup>	0.24 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>	0.29 <sup>ax</sup>	0.024
400		0.13 <sup>y</sup>	0.12	0.12 <sup>y</sup>	0.21	0.22	0.13 <sup>z</sup>	0.033
SEM <sup>3)</sup>		0.014	0.041	0.017	0.063	0.038	0.020	
3 week	1.27							
100		0.25 <sup>ab</sup>	0.23 <sup>b</sup>	0.21 <sup>bx</sup>	0.25 <sup>ab</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.27 <sup>ab</sup>	0.028
200		0.25 <sup>ab</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.21 <sup>bx</sup>	0.23 <sup>ab</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.030
400		0.24 <sup>b</sup>	0.19 <sup>c</sup>	0.17 <sup>cy</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.032
SEM <sup>3)</sup>		0.013	0.18	0.008	0.039	0.030	0.074	

<sup>1)</sup>Control: Soybean oil prepared with distilled water, PA0-20: Phytic acid irradiated at 0, 10, and 20 kGy, AA: Ascorbic acid, TOC: Tocopherol, BHA: Butylated hydroxyl anisole.

<sup>2)</sup>SEM: Standard error of the mean (n=18).

<sup>3)</sup>SEM: Standard error of the mean (n=9).

<sup>a,b</sup>Values with different letters within a row differ significantly (p<0.05).

<sup>x-z</sup>Values with different letters within a column differ significantly (p<0.05).

고, 항산화제를 첨가하지 않고 증류수를 넣은 것을 대조구(control)로 하여 1주 간격으로 TBARS를 측정하였다.

저장 1주째의 결과에서 phytic acid(200, 400 g/mL)는 기존 항산화제보다 효과적으로 지방산패를 억제하는 것으로 나타났으며, 방사선 조사에 의한 유의적 차이는 보이지 않았다(p<0.05). 하지만 저장 3주차에서는 방사선 조사한 phytic acid의 항산화 효과가 유의적으로 증가하였다. 또한 농도에 의한 유의적 차이는 phytic acid 및 BHA의 경우에만 관찰되는 것으로 나타났다.

지방을 함유하는 유지모델의 산패과정에 있어서 phytic acid의 항산화 효과는 이온 흡착효과 및 일부 라디칼 제거 효과에 의해서도 설명이 될 수 있으나, 본 실험의 결과에서도 알 수 있듯이 hydrogen-donating 능력과는 별개의 문제이다. 이와같이 물질의 항산화 활성 효과는 특정 라디칼의 소거력, 환원성, 미네랄 결합력, 기타 다른 성분들과의 상호작용과 같은 여러 가지 요인들이 영향을 줄 수 있기 때문에 각 항산화제의 구조적, 화학적 특성에 따라 다른 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다(20). Graf와 Eaton(8)은 phytic acid가 활성산소와도 반응하여 높은 항산화 효과를 갖고 있고, 다른 항산화제와 비교했을 때 극히 안정되고, 반응성이 적은 항산화제로 분류할 수 있다고 보고하였다. 방사선 조사는 phytic acid의 지방산화 억제와 같은 항산화 작용을 증가 혹은 유지시킬 수도 있으며, 구조적인 변화를 통하여 항라디칼

작용을 부여할 수 있는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구는 체내대사저해물질인 phytic acid에 방사선 조사를 함으로써 phytic acid 수준은 저감화하고, 동시에 항산화 작용을 증가시키는 효과에 대한 기초연구결과를 제시하고 있다.

## 요 약

방사선 조사에 의한 phytic acid의 분해특성 및 항라디칼, 항산화 활성을 평가하기 위하여, phytic acid를 수용액 모델에서 방사선 조사(0~20 kGy) 후 기존 항산화제(ascorbic acid, tocopherol, BHA)와의 항산화 특성을 비교하였다. 방사선 조사 후 phytic acid의 조사분해를 확인할 수 있었고, 조사선량이 증가함에 따라 그 분해정도가 유의적으로 증가하였다. 또한 phytic acid의 농도에 따라 방사선에 의한 영향도 다르게 나타났는데, phytic acid의 농도가 증가함에 따라 방사선 조사분해 정도가 감소하였다. 항산화 특성의 측정결과, 방사선 조사된 phytic acid의 경우 DPPH 라디칼 소거능이 형성되었으며, 조사선량 및 phytic acid의 농도가 증가함에 따라 그 활성이 증가하는 것으로 나타났다. 저장동안 유지산패의 억제효과는 기존 항산화제보다 phytic acid의 항산화성이 유의적으로 높았으며 방사선 조사에 의해 유지 혹은 다소 상승되는 것으로 나타났다. 따라서 방사선 조사시 phytic

acid의 조사분해와 동시에 항산화 특성을 증대시킬 수 있는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

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

### 문 헌

1. Febles CI, Arias A, Hardisson A, Rodriguez-Alvarez C, Sierra A. 2001. Phytic acid level in infant flours. *Food Chem* 74: 437-441.
2. Liu B, Rafiq A, Tzeng Y, Rob A. 1998. The induction and characterization of phytase. *Rev Enz Microbial Technol* 22: 415-424.
3. Cheryan A. 1980. Phytic acid interaction in food systems. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 13: 297-335.
4. Adeyeye EI, Arogundade LA, Akintayo ET, Aisidea OA, Alao PA. 2000. Calcium, zinc and phytate interrelationships in some foods of major consumption in Nigeria. *Food Chem* 71: 435-441.
5. Evans WJ, Jacks TJ, Mccourtney EJ. 1983. The interaction of zinc ion with phytic acid. *J Food Sci* 48: 1208-1210.
6. Clydesdale FM, Camire AL. 1983. Effect of pH and heat on the binding of iron, calcium, magnesium, and zinc and the loss of phytic acid in soy flour. *J Food Sci* 48: 1272-1274.
7. Rickard SE, Thompson LU. 1997. Interaction and biological effects of phytic acid. In *Antinutrient and phytochemicals in food*. ACS Symposium Series 662. Shahidi F, ed. American Chemical Society, Washington, DC. p 294-312.
8. Graf E, Eaton JW. 1990. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biol Med* 8: 61-69.
9. Shamsuddin AM, Vucenik I, Cole KE. 1997. IP6: A novel anti-cancer agent. *Life Sci* 61: 343-354.
10. Berridge MJ, Irvine RF. 1989. Inositol phosphates and cell signaling. *Nature* 341: 197-205.
11. WHO. 1999. High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. WHO Technical Report Series 890, Geneva: World Health Organization. p 9-37.
12. 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 Chem* 66: 21-27.
13. Peterson DM. 2001. Oat antioxidants. *J Cereal Sci* 33: 115-129.
14. Latta M, Eskin M. 1980. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J Agric Food Chem* 28: 1313-1315.
15. Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1190-1200.
16. Ahn DU, Olson DG, Jo C, Love J, Jin SK. 1999. Volatiles production and lipid oxidation on irradiated cooked sausage as related to packaging and storage. *J Food Sci* 64: 226-229.
17. 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.
18. Stewart EM. 2001. Food irradiation chemistry. In *Food irradiation- Principles and applications*. Mollins RA, ed. Wiley Interscience, New York, USA. p 31-76.
19. Fogliano V, Verde V, Randazzo G, Ritieni A. 1999. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wine. *J Agric Food Chem* 47: 1035-1040.
20. Schwarz K, Huang SW, German JB, Tiersch B, Hartmann J, Frankel EN. 2000. Activities of antioxidants are affected by colloidal properties of oil-in-water and water-in-oil emulsions and bulk oils. *J Agric Food Chem* 48: 4874-4880.

(2004년 5월 21일 접수; 2004년 8월 4일 채택)