

## 식이 참깨탈지박이 에탄올을 공급한 쥐에 유도된 산화 스트레스 억제효과

강명화<sup>†</sup> · 민관식\* · 류수노 · 방진기 · 이봉호

농촌진흥청 작물시험장

\*농촌진흥청 축산기술연구소

### Effects of Defatted Sesame Flour on Oxidative Stress Induced by Ethanol-feeding in Rats

Myung-Hwa Kang<sup>†</sup>, Kwan-Sik Min\*, Su-Noh Ryu, Jin-Ki Bang and Bong-Ho Lee

National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-100, Korea

\*National Livestock Research Institute, RDA, Suwon 441-350, Korea

#### Abstract

To evaluate the effect of defatted sesame flour(DSF) on the oxidative stress of ethanol-feeding in rats, Wistar male rats were divided into 4 groups of control, ethanol, DSF and DSF-ethanol. Each group was sacrificed after feeding for 4 weeks and was examined by measuring the formation of 2-thiobarbituric acid-reactive substance(TBARS), total cholesterol(TC) in serum, redox glutathione-S-transferase(GST) enzyme activity and the contents of glutathione(GSH) in the liver. The formation of TBARS in the liver after ethanol feeding was significantly increased comparing to the control, but the levels were significantly decreased by the DSF as compared to the ethanol feeding group( $p < 0.05$ ). When compared to fed control diet, we found that serum TC levels were significantly lower in the DSF fed group than control group ( $p < 0.05$ ). The activity of hepatic GST was significantly increased by DSF as compared to the control and was decreased by ethanol-feeding. On the other hand, the hepatic contents of GSH were unaffected by DSF feeding. Our findings suggest that feeding DSF may inhibit ethanol-induced oxidative stress may be due to the stimulation of antioxidative activity by sesaminol glucosides in DSF.

**Key words:** ethanol, lipid peroxidation, oxidative stress, sesaminol-glucosides

#### 서 론

참깨는 참깨과(Pedaliaceae) 참깨속(*Sesamum*)에 속하는 1년생 초본으로 열대에서 냉온대에 걸쳐 재배되는 세계적인 유료작물이다. 대부분이 아프리카 사바나 지역에 분포하며 인도에서 많이 재배되었다 하여 린네가 *Sesamum indicum* Linn이라 명명하였다. 열대성 작물이었던 참깨는 오랜 시간을 거쳐 온대성 환경에 적응해 오면서 고대 이집트 시대에 온대권 국가로 급속히 퍼졌다(1-3).

참깨의 영양학적 성분을 살펴보면 지질 51%, 단백질 20%, 당질 15% 정도 함유한다. 쌀이나 소맥 등과 비교해 칼슘, 인, 아연, 철, 비타민 B1, B2, 니아신, 불포화 지방산인 올레인산(39%)과 리놀산(45%), 필수 아미노산인 루이신과 글루타민산을 풍부히 함유한 영양의 보고이다(3). 또한 항산화 성분인 세사민(0.4~1.0%)과 세사몰린(0.3~0.7%)이 미량함유되어 있어 최근 이들의 항산화 효과가 증명됨에 따라 많은 관심이 주목되고 있다(4-10).

Akimoto 등(9)은 참깨 중 리그난 성분인 세사민이 간에 서 알콜 해독작용을 촉진시키는 것으로 보고하였다. 또 다른 연구에서는 장내에서 콜레스테롤 흡수를 억제시켜 혈중 콜레스테롤 농도를 저하시키는 것으로 보고하였다(10). 참깨에서 기름을 짜고 난 참깨 탈지박에 수용성 항산화물질인 세사미놀 배당체가 0.9% 정도 함유되어 있다. 토끼에게 10% 참깨 탈지박과 함께 1% 콜레스테롤을 섞은 식이를 3개월간 공급시, 고콜레스테롤로 인한 동맥경화 예방효과가 나타나 지금까지 가축의 사료나 퇴비로밖에 쓰여지지 않았던 참깨 탈지박의 고향산화 성분 함유 가능성 식품소재로서 개발 가능성이 기대되고 있다(11).

우리나라 음주문화는 과음을 유발하는 경향이 있고 이로 인한 간기능 장애는 날로 증가하는 추세이다. 최근 간질환의 예방 및 해독작용을 촉진시키는 식품 또는 의약품의 개발이 중요한 연구과제로 대두되고 있다. Shin 등(12)은 Aloe vera의 수용성 분획이 알코올분해 작용을 촉진시킨다고 보고하였다. Moon 등(13)은 소엽의 에탄올 가용

<sup>†</sup>To whom all correspondence should be addressed

부에 알코올 분해 촉진 성분이, 불용성 부위에는 억제성 성분이 존재함을 밝혔다. 이에 본 연구에서는 참깨 탈지박의 이용성 제고와 음주시 안주로서 스낵류의 식품소재 이용 가능성에 대해 살펴보고자 쥐에게 10% 참깨 탈지박을 첨가한 식이와 함께 에탄올 공급시 참깨 탈지박이 생체내 항산화 효과를 나타내는지에 관하여 실험한 결과를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에서 사용된 참깨 탈지박은 수단(Sudan)산 참깨에서 참기름을 짜고 남은 탈지박을 사용하였다. 참깨 탈지박의 정제과정은 Katsuzaki 등(14)의 방법에 의하여 조제하였고, 그 분말을 시료로 HPLC에 의해 분석한 결과 세사미놀 배당체가 탈지박 100g당 890mg이었다. 일반성분 분석결과 Kang 등(11)의 결과와 일치하였다.

### 동물실험

8주령의 Wistar계 웅성 흰쥐(체중 190~200g)를 한군당 6마리씩 4주간 사육하였다. 처음 5일 동안 실내온도  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ , 12hr light-dark cycle에서 표준식이와 물을 공급하여 충분히 환경에 적응시킨 후 casein 식이를 기본으로 Table 1과 같이 식이를 조제하여 공급하였다. 에탄올은 물에 20%로 희석하여 공급하였다.

매일 일정한 시간에 식이와 물 섭취량을, 체중은 일주일당 한번 측정하였다. 에탄올 공급에 의한 식이 섭취 감

소가 우려되어 1일 식이 섭취량을 4군 동일하게 20g으로 제한하여 공급하였다. 4주 후 12시간 전에 절식시킨 다음 에틸 에테르로 마취시킨 후 마취하에서 복부 대동맥에서 10cc씩 채혈하여 실온에 1시간 방치 한 후 750×g에서 10분간 원심분리 후 혈청을 분리하였다. 또한 생리 식염수로 간류 후 간과 심장을 적출해 분석 전까지  $-80^\circ\text{C}$ 에 보관하면서 분석하였다. 단백질 측정은 표준물질로서 bovine serum albumin을 사용한 bicinchonic acid(BCA) protein assay kit(Pierce, Rockford, IL)를 사용하였다.

### 혈청 중 총콜레스테롤 측정

혈청 중 총 콜레스테롤 측정은 효소법으로 Nescauto commercial kit(Nippon Shoji, Osaka, Japan)를 사용하여 dl당 mg단위로 나타내었다.

### 지질 과산화도 측정

혈중 지질 과산화물 생성은 Kang 등(15)의 방법에 따라 TBARS법을 사용하여 측정하였고, tetra-ethoxypropane을 사용한 표준 검량선에 의하여 계산하였다.

### 시료의 조제 및 효소 활성 측정

적출된 간과 심장은 차가운 생리식염수로 씻어 여과지로 물기를 제거한 후 각 조직 g당 4배량의 차가운 phosphate buffered saline(PBS pH 7.4)을 가하여 homogenizer로 마쇄하였다. 이 마쇄액을 750×g에서 15분간 원심분리한 후 상등액을 얻었고, 이 상등액을  $4^\circ\text{C}$ 의 10,000×g에서 30분간 초원심분리 후 상등액을 Simons와 Johnson(16)의 방법에 따라 glutathione 함량을 측정하였다. GST는 Habig(17) 방법에 의하여 측정하였다.

### 통계처리

실험결과는 mean±S.E.로 나타냈으며 각 평균치의 차이는 StatView version 5.0(Abacus Concepts, Inc., Berkeley, CA, 1998)을 사용한 Duncan's multiple range test에 의해 p-value 0.05의 수준에서 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 체중변화, 식이섭취량 및 장기의 무게 변화

4주간 4군의 일반 사항 분석결과는 Table 2와 같다. 몸무게 증가에 대한 에탄올의 영향은 에탄올 공급군에서 약간 감소하는 경향이었으나 통계적으로 유의하지 않았고, 참깨 탈지박 첨가시 몸무게가 약간 증가했다. 에탄올 공급시 물에 비하여 섭취량이 유의적으로 감소하여 대조군에 비해 에탄올 공급 쥐에게 수분이 부족했을 것이라 추정된다. 간과 심장의 무게는 에탄올 공급시 유의적으로

Table 1. Composition of control and experimental diets

Ingredients	Control (%)	10% defatted sesame flour(%)
Casein	35.0	25.0
Cellulose	4.0	4.0
Corn oil	5.0	5.0
Mineral mixture <sup>1)</sup>	3.5	3.5
Vitamin mixture <sup>2)</sup>	1.0	1.0
Corn starch	60.5	60.5
Defatted sesame flour	0.0	10.0

<sup>1)</sup>Composition of the mineral mixture(g/kg diet): CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 0.43, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 34.31, NaCl 25.06, Fe-citrate 0.623, MgSO<sub>4</sub> 4.8764, ZnCl<sub>2</sub> 0.02, MnSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.121, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.156, KI 0.0005, CaCO<sub>3</sub> 29.29, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O 0.0025, cellulose-power 5.1036.

<sup>2)</sup>Composition of the vitamin mixture(mg/kg diet): Vitamin A-acetate 100.0(50,000 IU), Vitamin D<sub>3</sub> 0.25(10,000 IU), Vitamin E-acetate 500.0, Vitamin K<sub>3</sub> 520.0, Vitamin B<sub>1</sub>-HCl 120.0, Vitamin B<sub>2</sub> 400.0, Vitamin B<sub>6</sub>-HCl 80.0, Vitamin B<sub>12</sub> 0.05, Vitamin C 3,000.0, Biotin 2.0, Folic acid 20.0, Calcium-pantothenate 500.0, para-amino-benzoic acid 600.0, Nicotinic acid 600.0, Inositol 600.0, Choline-chloride 20,000, Cellulose-power 73,057.7.

Table 2. Physiological conditions of experimental groups for 4 weeks

Group	Body weight		Liver weight (g)	Kidney weight (g)	Water or EtOH intake (ml/day)	Food intake (g/day)
	Start(g)	End(g)				
Control	190.0±2.45 <sup>1)</sup>	450.0± 6.33 <sup>a2)</sup>	9.1±0.29 <sup>a</sup>	2.7±0.15 <sup>a</sup>	56.0±6.29 <sup>a</sup>	20.0±0.00 <sup>a</sup>
EtOH <sup>3)</sup>	200.0±7.07	430.0±13.78 <sup>a</sup>	14.0±1.08 <sup>b</sup>	3.3±0.15 <sup>ab</sup>	16.4±0.98 <sup>b</sup>	19.6±0.40 <sup>a</sup>
DSF <sup>4)</sup>	196.0±5.48	492.0±19.85 <sup>ab</sup>	11.1±0.36 <sup>c</sup>	2.9±0.16 <sup>a</sup>	41.2±2.87 <sup>c</sup>	20.0±0.00 <sup>a</sup>
DSF+EtOH	194.0±8.94	466.0±16.00 <sup>a</sup>	11.2±0.50 <sup>c</sup>	2.9±0.14 <sup>a</sup>	16.8±1.63 <sup>d</sup>	16.6±0.75 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>All data are expressed as Mean±S.E, n=6.

<sup>2)</sup>In each column, different alphabets in superscript show statistically significantly difference(p<0.05).

<sup>3)</sup>Ethanol are expressed as EtOH.

<sup>4)</sup>DSF are defatted sesame flour.

증가하였으나 탈지박 첨가시 억제한 것으로 나타났다. 또 다른 연구에서 세사민과 세사몰린 섭취시 간 비대 현상이 나타났다고 보고하였으나(15,18), 탈지박의 경우 비대 현상은 나타나지 않았다. Data는 제시하지 않았지만 첨가 탈지박과 에탄올 공급에 의한 간조직의 병리학적 이상은 관찰되지 않았다.

#### 혈청 중 총 콜레스테롤 농도 측정

과잉의 알코올 섭취는 지방간을 일으키며 간기능에 이상을 초래하고 혈청 중성지방과 콜레스테롤 농도를 증가시키는 것으로 보고되어져 있다(19). 첨가 탈지박 첨가시 혈청중 총콜레스테롤 농도 측정 결과 Fig. 1에서 나타난 것처럼 유의적인 감소 효과가 나타났다(p<0.05). 첨가에 함유되어 있는 세사민은 장내 콜레스테롤 흡수를 억제시키고(8,18,19), 혈관순환계 질환을 예방하며(20), 간기능을 증진시키는 것으로 밝혀졌다(9). 당뇨병과 고지혈증 합병증환자에게 세사민을 섭취시킨 결과 혈중 콜레스테롤 농도가 상당히 저하되었음을 보고하였다(21). 이 결과는 세사민이 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A (HMG Co A) reductase의 활성을 감소시켜 간장에서 콜레스테롤 생합성을 억제시키고 콜레스테롤 흡수 통로인

입과선내에서 콜레스테롤 흡수를 억제시켜 간장 및 혈청 중 총 콜레스테롤 농도를 감소시킨 것으로 보고하였다(21). 첨가 탈지박도 혈청 중 총 콜레스테롤 농도를 저하시켜 알코올에 의해 유발되는 간손상 방지 및 콜레스테롤 흡수 억제 효과를 나타냄을 추정할 수 있다.

#### 지질 과산화물 측정

지질 과산화물 생성의 증가는 여러 가지 독성화합물과 약물에 의한 간손상이 원인이라는 학설이 인정되고 이러한 것들은 세포내 산화 스트레스, 즉 free radical 생성 증가 및 항산화 효과 감소로 인해 발생하는 것으로 보고되어져 있다(22). 간조직 중 지질 과산화물을 측정한 결과 Fig. 2에서 나타난 것 같이 첨가 탈지박 첨가시 유의적인 감소효과가 있었다. 그러나 대조군에 에탄올 공급은 간조직중 지질 과산화물을 증가시켰는데 이는 xenobiotics 대사시 생성된 free radical이 지질 과산화물을 증가시킨 결과와 일치하였고, 첨가 탈지박 첨가시 지질 과산화물 생성의 억제는 첨가 탈지박 중에 존재하는 항산화 물질인 세사미놀 배당체가 free radical 생성을 억제시켜 항산화 효과를 나타낸 것으로 추정된다. 세사미놀 배당체는 섭취

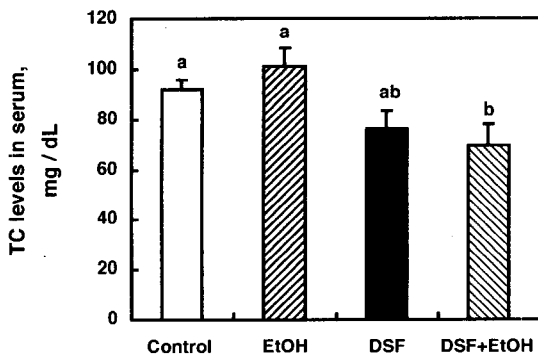


Fig. 1. Effects of defatted sesame flour on serum total cholesterol levels of ethanol feeding rats.

Each bar is Mean±S.E, n=6. Control: basal diet, EtOH: 20% ethanol in water, DSF: 10% defatted sesame flour plus control diet, DSF+EtOH: 20% ethanol feeding in DSF. Values were not significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

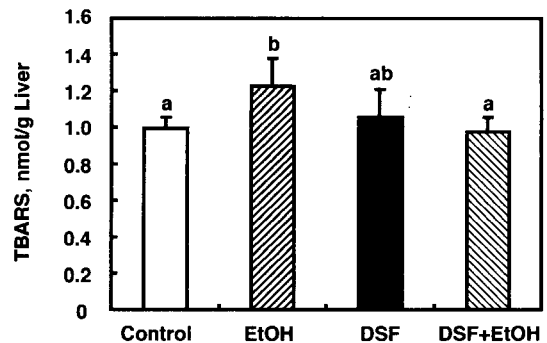


Fig. 2. Effects of defatted sesame flour on GSH contents in hepatic tissue of ethanol feeding rats.

Each bar is Mean±S.E, n=6. Control: basal diet, EtOH: 20% ethanol in water, DSF: 10% defatted sesame flour plus control diet, DSF+EtOH: 20% ethanol feeding in DSF. Values were not significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

시 장내  $\beta$ -glucosidase의 작용에 의해 당이 가수분해를 받으면 아글리콘(세사미놀)으로 되어 혈액을 타고 각 조직에 운반, 축적되어 강한 항산화 효과를 나타내는 것으로 추정할 수 있다(23). Kang 등(24)의 연구결과 세사미놀과 지용성 래디칼 발생제 2, 2'-azobis(2,4-dimethylvaleronitrile)(AMVM)과의 반응물질 연구에서 세사미놀 3'에 AMVN 유래의 peroxy radical과 반응하여 안정한 화합물을 형성하는 것으로 나타남에 따라 세사미놀은 free radical을 소거함으로써 항산화 효과를 나타내는 것으로 추정된다.

Glutathione-S-transferase 활성 및 glutathione 량 비교

쥐에게 에탄올 공급은 간중 GST 활성을 유도시키지 않았으나 탈지박과 함께 에탄올 공급시 GST 활성을 유의적으로 유도하였다(Fig. 3). GST는 생체내에서 발암물질, 살충제, 알코올, free radical, 항암제 등과 환원형 GSH와 축합반응을 촉진시켜, 이물질을 무독화해 체외로 배설을 촉진시키는 생체내 중요한 해독효소이다. 생체내 GST 활성을 높이는 것은 이물질과 산화스트레스에 의한 상해를 저하시키는 중요한 효소로 최근 식물체 중에 GST 활성을 높이는 물질을 찾는 데 수 많은 연구가 이루어져 왔다(25,26). 양파, 외사비 등과 같은 백합과에 속하는 식물의 주성분인 isothiocyanate가 GST 활성을 높이는 물질임이 증명되었다(27). 참깨 탈지박도 체내에서 GST 활성을 높여 이물질의 해독 작용을 촉진시키는 것으로 나타났다. 간조직 중 GSH 함량은 Fig. 4에서 보는 것처럼 참깨 탈지박 첨가 효과가 없는 것으로 나타났다. GSH는 생체내 생성된 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 등의 free radical을 소거하여 항산화 효과를 나타내나 탈지박 첨가시 GSH의 무변화는 세사미놀이 항산화 효과를 나타냈기 때문에 GSH가 작용할 필요가

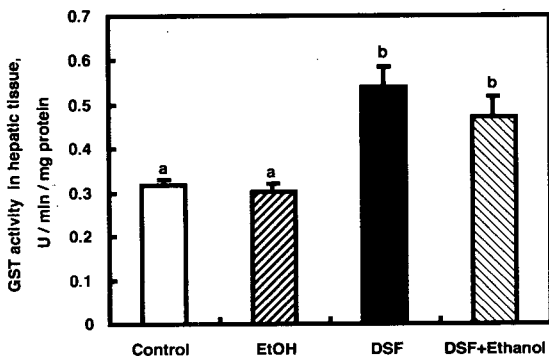


Fig. 3. Effects of defatted sesame flour on GST activity in hepatic tissue of ethanol feeding rats for 4 weeks. Each bar is Mean  $\pm$  S.E, n=6. EtOH: 20% ethanol in water, DSF: 10% defatted sesame flour plus control diet. Values with different superscripts were significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

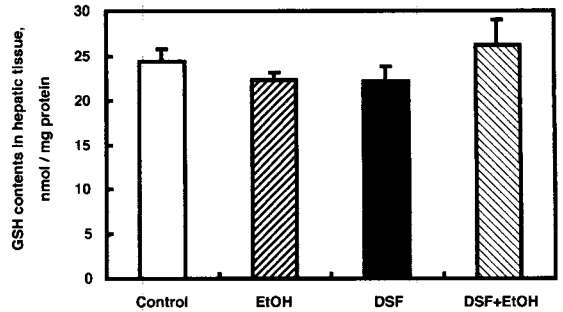


Fig. 4. Effects of defatted sesame flour on GSH contents in hepatic tissue of ethanol feeding rats. Each bar is Mean  $\pm$  S.E, n=6. EtOH: 20% ethanol in water, DSF: 10% defatted sesame flour plus control diet. Values were not significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

없었을 것으로 사료된다.

요 약

쥐에게 4주 동안 참깨 탈지박과 함께 에탄올을 공급한 결과 탈지박 첨가군에서 체중이 약간 증가했다. 혈청 중 총 콜레스테롤 농도는 탈지박 첨가시 유의적으로 저하되었고, 간조직 중 지질 과산화물 생성도 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다. 생체내 해독 효소인 GST 활성은 탈지박 첨가시 유도되었다. 탈지박 첨가는 생체내 지질 과산화물 생성을 억제시키고, 해독 효소 활성을 증가시켜 생체내 생리활성을 나타내는 것으로 나타났다. 참깨 탈지박을 이용한 술안주, 스낵류 이용을 위한 기능성 식품재료로서 활용이 가능할 것으로 사료된다.

문 헌

- Namiki, M. : The chemistry and physiological functions of sesame. *Food Rev. Internat.*, **11**, 281-329(1995)
- Namiki, M. and Kobayashi, T. : *Gomano kagaku*(Science of sesame). Asakura shoten, Tokyo, p.246(1989)
- Budowski, P. and Markley, K. S. : The chemical and physiological properties of sesame oil. *Chem. Rev.*, **48**, 125-151(1951)
- Beroza, M. and Kinman, M. L. : Sesamin, sesamol and sesamol content of the oil of sesame seed as affected by strain, location grown, aging and frost damage. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **31**, 348-350(1951)
- Budowski, P. : Recent research on sesamin, sesamol, and related compounds. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **41**, 280-284(1964)
- Kang, M. H., Naito, M., Sakai, K., Uchida, K. and Osawa, T. : Action of mode sesame lignans in protecting low-density lipoprotein against oxidative damage *in vitro*. *Life Sciences*, (in press)(1999)
- Fukuda, Y., Nagata, T., Osawa, T. and Namiki, M. : Contribution of lignan analogues to antioxidative activity of refined unroasted sesame seed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **63**, 1027-1031(1986)

8. Kang, M. H., Ryu, S. N., Bang, J. K., Min, K-S. and Lee, B. H. : Physiological functions of sesamin and sesamol in sesame. *Kor. J. Intl. Agri.*, **11**, 126-137(1999)
9. Akimoto, K., Kitagawa, Y., Akamatsu, T., Hirose, N., Sugano, M., Shimizu, S. and Yamada, H. : Protective effects of sesamin against liver damage caused by alcohol or carbon tetrachloride in rodents. *Ann. Nutr. Metab.*, **37**, 218-224(1993)
10. Hirata, F., Fujita, K., Ishikura, Y., Hosoda, K., Ishikawa, T. and Nakamura, H. : Hypocholesterolemic effect of sesame lignan in humans. *Atherosclerosis*, **122**, 135-136(1996)
11. Kang, M. H., Naito, M., Kawai, Y. and Osawa, T. : Antioxidative effects of dietary defatted sesame flour; In hypercholesterolemia rabbits. *J. Nutr.*, (in press)(1999)
12. Shin, K. H., Woo, W. S., Song, Y. J., Chung, H. S., Lee, J. M. and Shim, C. S. : Studies on the effects of *Aloe* spp. ethanol metabolism (I). *Kor. J. Pharmacogn.*, **26**, 148-153(1995)
13. Moon, H. I., Zee, O. P. and Shin, K. H. : Effect of perilla (*Perilla frutescens* Britton) extract on serum ethanol level and hepatic alcohol dehydrogenase activity. *Korean J. Medicinal Crop Sci.*, **6**, 126-130(1998)
14. Katsuzaki, H., Kawasumi, M., Kawakishi, S. and Osawa, T. : Sesaminol glucoside in sesame seeds. *Phytochem.*, **35**, 773-776(1994)
15. Kang, M. H., Naito, M., Tsujihara, N. and Osawa, T. : Sesamol inhibits lipid peroxidation in rat liver and kidney. *J. Nutr.*, **128**, 1018-1022(1998)
16. Simons, S. S. and Johnson, D. F. : Reaction of *o*-phthalaldehyde and thiols with primary amines: Fluorescence properties of 1-alkyl (and aryl) rhio-2-alkylisindoles. *Ann. Biochem.*, **90**, 705-725(1978)
17. Habig, W. H., Pabst, M. P. and Jakoby, W. B. : Glutathione S-transferase. *J. Biol. Chem.*, **249**, 7130-7139(1974)
18. Hirose, N., Inoue, T., Nishihara, K., Sugano, M., Akimoto, K., Shimizu, S. and Yamada, H. : Inhibition of cholesterol absorption and synthesis in rats sesamin. *J. Lipid Res.*, **32**, 629-638(1991)
19. Nonaka, M., Yamashita, K., Iizuka, Y., Namiki, M. and Sugano, M. : Effects of dietary sesaminol and sesamin on eicosanoid production and immunoglobulin level in rats given ethanol. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **61**, 836-839(1997)
20. Sugano, M., Inoue, T., Koba, K., Yoshida, K., Hirose, N., Shinmen, Y., Akimoto, K. and Amachi, T. : Influence of sesame lignans on various lipid parameters in rats. *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 2669-2673(1990)
21. 이종호, 허갑범, 박기문 : Sesamin섭취가 혈청지질에 미치는 영향. 오뚜기 중앙연구소 보고서(1996)
22. Plaa, G. L. and Witschi, H. : Chemicals, drug and lipid peroxidation. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, **16**, 125(1976)
23. Osawa, T., Yoshida, S., Yamashida, K. and Ochi, H. : Protective role of dietary antioxidants in oxidative stress In "*Oxidative stress and aging*" Cutler, R. G., Packer, L., Bertram, J. and Mori, A.(eds.), Birkhauser-Verlag, Basel, pp.367-377(1995)
24. Kang, M. H., Katsuzaki, H. and Osawa, T. : Inhibition of 2,2'-azobis(2,4-dimethylvaleronitrile)-induced lipid peroxidation by sesaminols. *Lipids*, **33**, 1031-1036(1998)
25. Pearson, W. R., Windle, J. J. and Morrow, J. F. : Increased synthesis of glutathione S-transferase in response to anticarcinogenic antioxidant. *J. Biol. Chem.*, **258**, 2052-2062(1988)
26. Sparmins, V. L., Venegas, P. L. and Wattenberg, L. W. : Glutathione-S-transferase activity: enhancement by compounds inhibiting chemical carcinogenesis and by dietary constituents. *J.N.C.I.*, **68**, 493-496(1982)
27. 内藤峪子 : 肝細胞における解毒酵素 glutathione-S-transferase誘導機構の解析. 名古屋大學院卒業論文(1999)

(1999년 5월 7일 접수)