

Sesamol 급여 흰쥐의 대사물질 측정 및 항산화 효과

이민선¹ · 김현위² · 방선권³ · 강명화^{1,4*}

¹호서대학교 벤처전문대학원 첨단산업기술학과, ²(주) 오투기 중앙 연구소
³호서대학교 자연과학부 생명과학전공, ⁴호서대학교 식품영양학과

Antioxidative Effects and Its Metabolites in Rat Fed Sesamol

Min-Sun Lee¹, Hyeon-We Kim², Sun-Kwon Bang³ and Myung-Hwa Kang^{1,4*}

¹Innovative Industrial Technology, Graduate School of Venture for BK21,
Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

²Manager Research Center, Ottogi Corporation, Gyeonggi 431-070, Korea

³Dept. of Life Science, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

⁴Dept. of Food Science and Nutrition, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

Abstract

Although the sesame lignans, sesamol, have been shown to possess antioxidative activity, less is known about the metabolism and antioxidative properties of sesamol, a major constituent of sesame oil. To determine the ability of sesamol to act as an antioxidant *in vivo*, we fed rats a diet containing 0.5% sesamol for 3 wk and studied its metabolism and its effects on oxidative stress. Body weight gain and weight of liver, kidneys were significantly higher in the rats fed sesamol than in rats fed the control diets. GST and GST-Px activities in rat liver microsomes were higher in rats fed sesamol and CAT activities were found to be significantly increased in rats fed sesamol. The formation of TBARS was decreased in the liver of rat fed the 0.5% sesamol diet than in controls. We detected sesamol metabolites in liver and kidneys of rats fed sesamol and its metabolites were present as conjugated glucuronides and sulfates. In contrast, not detected sesamol peak in other organs such as colon, small intestine and pancreas.

Key words: sesamol, antioxidants, metabolites, rats

서 론

참깨(*Sesamum indicum* L.)는 영양가가 높고 볶음과정에 서 고소하고 특유한 풍미와 갈색화 물질을 생성하기 때문에 오래전부터 우리나라와 중국등지에서 빼놓을 수 없는 식품 부재료로 다양하게 이용되어 왔고 종자를 볶아 압착하여 기름을 짜 식용유로 사용하여 왔다.

참기름은 참깨를 높은 온도로 볶아 짜는 공정을 통해 제조되며 이때, 참기름 특유의 고소한 맛과 진한 갈색은 참깨의 성분 중 당과 단백질에 의한 Maillard 반응에 의해 생성되는데, 이 갈색 및 향기성분은 가열온도 및 시간에 따라 달라지며 참기름의 맛과 향기에 중요한 인자가 된다(1,2). 참기름은 고온에서 장시간 방치하여도 산화되지 않는 강한 항산화성을 나타내는데 이는 참기름에 함유되어 있는 항산화 리그난(lignan) 성분인 sesaminol과 sesamol에 의한 효과임이 밝혀졌다(3). 참기름이 다른 유지류와 비교해 불포화지방산의 함량이 높으면서도 우수한 산화안정성을 나타내는 이유는 sesamolin이 참깨 가공과정중 열에 의해 분해되어 강한 항

산화성을 나타내는 sesamol로 전환되기 때문이다(Fig. 1). Fukuda(4)에 의하면 sesamol, sesamin과 sesamolol 등의 lignan-type 물질이 참기름의 산화 안전성에 기여하는 항산화성 물질로 보고하였으며 Nakata 등(5)은 참기름을 정제하는 과정에서 생성되는 강한 항산화물질이 sesamolol과 sesaminol이라고 보고하였고 이들의 생성과정과 분자구조를 밝혔다. 참깨 함유 리그난 물질중 주요 성분인 sesamin과 sesamolol은 *in vitro*계에서는 항산화능이 매우 약한 것으로 나타나 있으나 생체내에서 항동맥경화 효과, 알코올 분해작용

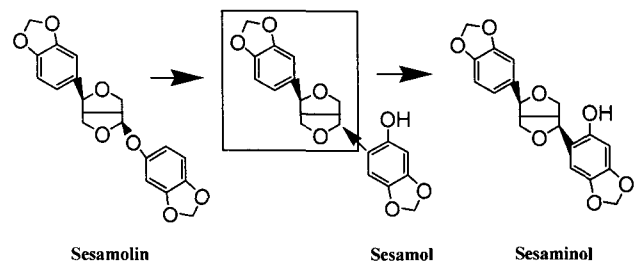


Fig. 1. Sesamol product during sesame oil processing.

*Corresponding author. E-mail: mhkang@office.hoseo.ac.kr
Phone: 82-41-540-5973, Fax: 82-41-548-0670

촉진, 장내 콜레스테롤 흡수 억제 등 *in vivo*계에서 큰 효과가 있는 것으로 보고되었다(6,7). Nakai 등(8)은 0.2% sesamin을 급여하였을 때 체내에서 4가지 이상의 화합물로 대사되고 그 중간에서 생성되는 대사산물이 *in vivo*계에서 강력한 항산화 효과를 갖는 것으로 보고하였다. Kang 등(7)은 sesamol 1%를 식이에 첨가하여 2주간 쥐에게 공급한 후 각 조직 내 대사산물을 측정하고 각 장기에서 sesamol과 sesamol이 검출되어 sesamol은 신체내에서 sesamol과 sesamol이 분해되어 대사되고 이 대사물들이 각종 장기에 축적되어 항산화 효과를 나타내는 것으로 보고하여 *in vitro*계에서는 항산화 효과가 약하나, *in vivo*계에서 강한 생체 방어능력을 나타내는 것으로 보고하였다. 그밖에 Yamashita 등(9)의 노화촉진 모델 마우스에서 sesamol 급여시 노화억제 효과를 보고한 바 있다.

이처럼 참깨 및 참기름 중에 함유되어 있는 리그난의 생리활성에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으나 sesamol의 항산화작용에 관한 연구는 *in vitro* 실험계에서 항산화 능력을 비교하여 PG(propyl gallate)보다 약하나 BHA나 BHT보다 우수한 것을 보고하였을 뿐 생체내 생리활성에 관한 연구는 매우 미미한 실정이다(9). Sesamol은 참기름 가공과정 중 탈색 공정에서 분자내 전이 반응을 통해 sesamol이 sesaminol로 전환되고 일부는 sesamol로 전환되어 생성된다. Sesamol과 sesaminol은 최종제품인 참깨유 중에 다량 함유되어 있으며, 정제과정 중 2차적으로 생성된다(10). 전술한 바와 같이 참깨의 항산화 작용은 여러 연구들을 통해 입증되었으나 참깨의 항산화 유효물질로 판명된 리그난류 중에 sesamol에 대한 연구는 다른 리그난류에 비해 체계적으로 연구되지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 참깨의 리그난 성분 중 sesamol의 항산화 효과와 신체내 대사과정을 밝히기 위해 sesamol 0.5%를 첨가한 식이를 3주간 급여한 흰쥐의 조직 중 sesamol 대사물을 측정하였고 생체내 항산화 효소활성계에 미치는 효과를 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 sesamol(3,4-methylenedioxyphenol, Sigma Chemical Co., USA)은 -20°C 의 냉동고에 보관하면서 각종 실험에 사용하였고, 실험에 사용한 모든 시약과 HPLC 용 용매는 Sigma Chemical Co. 제품을 사용하였다.

실험동물 및 식이

실험동물은 8주령의 Sprague-Dawley종 수컷 흰쥐(체중 180~200 g)를 Sam-Taco(주)에서 구입하여 군당 10마리씩 control군과 sesamol군으로 나누었다.

처음 7일 동안 실내온도 $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 12시간 명암주기에서 표준식이와 물을 충분히 공급하면서 환경에 적응시킨 후

casein을 기본식으로 Table 1과 같이 식이를 제조하여 공급하였고 식이와 물 섭취량은 매일 일정시간에, 체중은 일주일에 한번 측정하였다.

혈액 및 장기 채취

실험 종료 전 12시간 전부터 절식시키고, ethyl ether로 마취시킨 후 복부를 절개하여 간정맥에서 주사기를 이용하여 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 냉장온도에서 24시간 방치 후 3,000 rpm에서 20분간 원심분리하여 혈청을 분리하였으며, 생리식염수로 관류 후 간과 신장, 대장, 소장, 위 및 췌장을 적출한 다음 분석 전까지 -80°C deep freezer에 보관하면서 각종 분석에 사용하였다.

항산화 효소계의 활성 측정

간조직에 0.1 mM PBS를 가하여 homegenizer(Biospec Product Inc., USA)로 균질화한 후, 3500 rpm에서 30분 간 원심분리하여 상등액을 얻었다. 이 상등액을 가지고 Simons와 Johnson의 방법(11)에 따라 glutathione 함량(GSH)을 측정하였고, Johansson과 Borg법(12)에 의해 catalase 활성을, Flohe(13)의 방법을 이용하여 glutathione peroxidase 활성을 측정하였다. Glutathione-S-transferase(GST)활성은 원액의 간 균질액을 사용하여 Habig 등(14)의 방법에 의해 측정하였다.

AAPH(2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride)로 산화 유도된 간, 신장조직의 지질과산화도 측정

지질과산화물 함량의 측정은 Buege와 Aust(15)의 방법에 따라 균질화한 간, 신장조직의 단백질 양을 일정하게 맞추어 다음 AAPH용액을 가하여 37°C water bath(Memmert Instrument Co., Germany)에서 2시간 동안 반응시켜 산화를 유도하고 BHT를 첨가하여 반응을 정지시킨 후 thiobar-

Table 1. Composition of experimental diets (g/100 g diet)

Ingredients	Control	Sesamol
Casein	25.0	25.0
Cellulose	4.0	4.0
Corn oil	5.0	5.0
Mineral mixture ¹⁾	3.5	3.5
Vitamin mixture ²⁾	1.0	1.0
Corn starch	61.5	61.0
Sesamol	0	0.5

¹⁾Mineral mixture (g/kg min. mix) according to AIN-76: Calcium phosphate, dibasic 500.0, zinc carbonate 1.6, sodium chloride 74.0, cupric carbonate 0.3, potassium citrate monohydrate 220.0, potassium iodate 0.01, potassium sulfate 52.0, sodium selenite 0.01, manganese carbonate 3.5, chromium potassium sulfate 0.55, magnesium oxide 24.0, ferric citrate 6.0, powdered to make 1000.0 g.

²⁾Vitamin mixture (g/kg vit. mix) according to AIN-76: Thiamine-HCl 0.6, biotin 0.02, riboflavin 0.6, cyanocobalamin 0.001, pyridoxine-HCl 0.7, retinyl acetate 0.8, nicotinic acid 3.0, DL- α -tocopherol 3.8, Ca-pantothenate 1.6, 7-dehydro-cholesterol 0.0025, folic acid 0.2, menadione 0.005, powdered to make 1000.0.

bituric acid(TBA)법을 사용하여, malondialdehyde(MDA) 함량으로 정량하였다.

Sesamol metabolites 측정

간, 신장 위, 소장, 대장 및 췌장을 2배의 10 mM phosphate buffer(pH 5.0)에 2% Vit C와 0.1% EDTA에 분쇄되어진 조직 균질물들을 각각 200 μ L씩 분리하여 500 unit의 β -glucuronidase(Sigma Chemical Co., USA)와 40 unit의 sulfatase(Sigma Chemical Co., USA)가 포함된 10 mM phosphate buffer에서 37°C에서 45분간 반응시켰다. 대조구는 β -glucuronidase와 sulfatase 또는 두 효소를 모두 포함하고 있는 것과 함유하고 있지 않는 buffer를 가지고 반응시킨 후 1 mL씩 ethyl-acetate를 넣고 3,500 rpm에서 5분간 원심분리시킨 후 상등액 0.7 mL를 채취한 후 감압에서 완전 농축시킨 후 50 μ L methanol을 넣어 용해시킨 후 HPLC(Younglin Instrument Co., Korea)를 이용하여 Table 2의 조건으로 분석하였다. 분자량 측정은 간 추출물을 FAB-MS 스펙트럼에 의해 JEOL-AX-505 WA(Japan Electron and Optics, Tokyo, Japan)로 측정하였다.

통계처리

실험결과는 mean \pm SD로 나타내었고, 각 실험군 간의 비교분석은 SAS program을 이용하여 *t*-test 분석 후 통계적인 차이는 $p < 0.05$ 에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

식이섭취량 및 장기무게

실험동물의 체중 변화는 Fig. 2와 같다. Sesamol 급여 3주 후부터 대조군에 비해 체중이 유의적으로 감소하여 sesamol이 체중감소에 효과가 있는 것으로 나타났다. 식이섭취량과 장기의 무게 측정결과는 Table 3과 같다. 식이섭취량은 control군이 sesamol군에 비해 1.32% 많았으나 유의적인 차이는 나타나지 않았고, 장기무게 중 간의 무게는 sesamol 급여

Table 2. Operating condition of HPLC for analysis of sesamol

Items	Condition
Instrument	Young-lin associates
Column	ODS-Column (4.6 \times 250 mm, Waters)
Mobile phase	Methanol : Water : Phosphoric acid = 60 : 40 : 0.1 (v/v/v)
Flow rate	1 mL/min
Detector	UV 310 nm

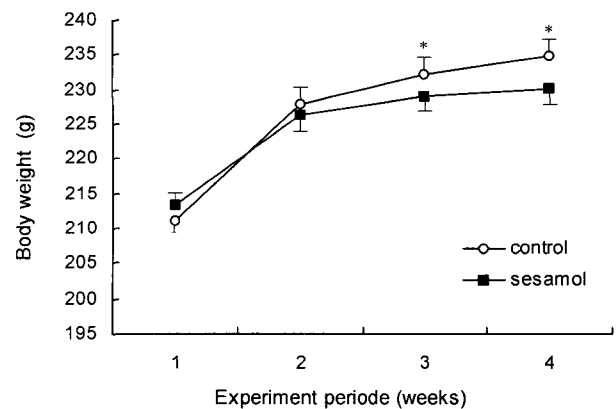


Fig. 2. Body weight changes in rats fed different diet during 21 days.

Each value is the mean of experimental group, n=10. Significantly different from control group at $p < 0.05$ by *t*-test.

군에서 유의적으로 높았고, 신장의 무게는 sesamol군이 높았으나 유의적인 차이는 나타나지 않았다. Hirose 등(16)의 보고에서도 0.2% sesamin을 식이에 첨가하였을 때 간 무게는 증가 되었으나 조직 검사 결과 간기능 이상을 초래하지 않았다고 보고한 바 있다.

간조직의 항산화효소 활성에 미치는 영향

Sesamol 급여시 간조직 중 항산화 효소활성에 미치는 영향은 Table 4와 같다. 외부의 독성물질과 산화적 스트레스에 대한 항산화효소 방어체계가 기질로써 작용하는 환원형 GSH 함량은 sesamol 식이에 비해 일반식이가 glutathione 농도가

Table 3. Food intake, weight gain and organ weights of rats fed control or 0.5% sesamol diets for 21 day

Group	Food intake (g/d)	Body weight gain (g/21 d)	Liver weight (g/g body weight)	Kidneys weight (g/g body weight)
Control	22.96 \pm 0.52	23.6 \pm 19.35	0.039 \pm 1.60	0.008 \pm 0.30
Sesamol	21.60 \pm 0.68	16.9 \pm 17.61*	0.044 \pm 0.72*	0.009 \pm 0.18

¹⁾Values are means \pm SD, n=10.

*Significantly different from control group at $p < 0.05$ by *t*-test.

Table 4. Glutathione contents, glutathione-S-transferase activity, glutathione peroxidase activity and catalase activity in liver cytosol

Group	Glutathione (μ g/mL)	GST (mU/mg protein/min)	GSH-Px (nmol/NADPH oxidized/min)	CAT (mU/mg protein)
Control	26.77 \pm 0.017 ¹⁾	0.19 \pm 0.05	3.25 \pm 1.34	1.28 \pm 0.21
Sesamol	23.74 \pm 0.035	0.24 \pm 0.01*	10.33 \pm 2.39*	2.90 \pm 1.16*

¹⁾Values are means \pm SD, n=10.

*Significantly different from control group at $p < 0.05$ by *t*-test.

약간 높았고, sesamol 급여시 glutathione 함량이 감소하였으나 두 군간에 유의적인 차이는 없었다. Sung 등(17)의 연구결과 당뇨유발 쥐와 sesamin 또는 sesamol을 급여한 당뇨 유발 쥐들의 간과 신장의 glutathione 함량을 측정된 결과 당뇨쥐에게 sesamin과 sesamol의 급여는 신장 중 GSH 함량감소를 예방하는 것으로 나타나 sesamin과 sesamol은 STZ(streptozotocin)에 의한 당뇨 유발시 발생하는 신장의 손상을 방어할 수 있음을 확인하였으나 간조직 중의 glutathione 함량에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다.

간 조직 내 GST 활성 측정 결과, sesamol군이 유의적으로 높게 나타났는데 이는 참깨의 또 다른 항산화 물질 중의 하나인 탈지박 중의 sesaminol 배당체가 GST의 활성을 높이고 또한 에탄올을 공급한 쥐에게 식이 참깨 탈지박이 GST 활성을 증가시켰다고 보고된 연구결과와 유사한 결과를 나타냈다(18,19).

GSH-Px활성은 sesamol 급여군이 높은 반면에 control군은 활성이 낮게 나타나 sesamol이 생체내에서 glutathione peroxidase의 활성을 높여 주는 것으로 나타났다. 따라서, 환원형 glutathione의 양이 sesamol 급여군에서 낮았던 것은 glutathione이 glutathione peroxidase의 전자공여체로 관여되었기 때문인 것으로 생각된다.

이상의 결과 참깨의 리그난 성분 중 하나인 sesamol 또한 신장조직에서 일차적으로 산화된 산화물을 포집하고 SH를 이용하여 체내의 독성 물질을 전이 분해시키는 작용을 하여 여러 환경에 의해 유도된 각종 독성을 무독화시켜 신장 및 간장의 손상을 보호하여 항산화효과를 나타낸 것으로 보여진다.

Catalase는 과산화수소를 무독성의 물로 환원시킴으로써 과산화 수소에 의한 세포의 손상을 방지하는 항산화 효소로 알려져 있으며, 대사 과정 중 발생하는 활성 산소종의 유리기를 제거할 뿐만 아니라, 이들 활성 산소에 의해 그 활성이

비가역적으로 불활성화될 수 있다고 알려져 있다(12). 항산화 효소인 catalase의 활성을 간에서 측정된 결과 sesamol을 급여함에 따라 catalase활성이 증가된 것으로 나타나 본 실험에서는 sesamol의 급여가 과산화수소를 무독화하는데 영향을 미치는 것으로 나타났다.

조직 내 지질과산화도

지질 과산화물 생성의 증가는 여러 가지 독성화합물과 약물에 의한 간손상이 원인이라는 학설이 인정되고 이러한 것들은 세포내 산화스트레스, 즉 free radical 생성 증가 및 항산화 효과 감소로 인해 발생하는 것으로 보고되고 있다(20). AAPH로 산화 유도된 흰쥐의 간과 신장 조직 중 지질과산화물의 형성 정도를 측정된 결과 Fig. 3에서 나타난 것 같이 sesamol을 급여한 군에서 유의적인 지질과산화 저해 효과를 나타냈다.

Kang 등(18)의 연구결과 sesamin과 sesamol 등은 *in vitro*계에서는 항산화 효과가 매우 낮으나 체내에서 대사된 대사물질이 간 조직중의 과산화물 생성을 억제시키는 것으로 보고하였고, sesamin과 sesaminol과 달리 sesamol은 *in vitro*계에서 지질 과산화 억제효과가 우수함을 보고하였으며, 본 실험결과에서도 sesamol이 간과 신장에서 대사되어 지질의 과산화를 억제시킨 것으로 나타나 *in vitro*에서와 같이 *in vivo*상에서도 높은 지질과산화 효과를 가진 것으로 나타났다.

HPLC 및 Mass를 이용한 sesamol 급여 흰쥐의 조직내 대사물질의 동정

Sesamol 0.5% 급여 3주 후 각 조직의 sesamol 대사산물을 측정된 결과는 Table 5와 같다. 약물대사작용에서 항산화 물질은 물질 자체로 또는 glucuronase, sulfatase 및 methylation 등의 conjugated 작용을 거쳐 이 물질을 독성이 없는 무독화물질로 대사시켜 체외로 방출하는 system이 알려져 있다(7). Sesamol 급여 후 간과 신장에서 free형으로 0.037±

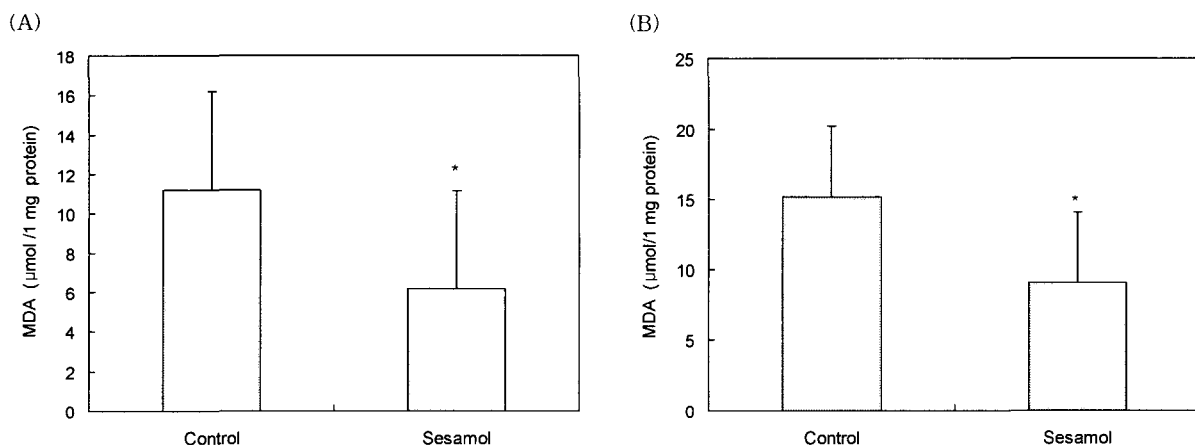


Fig. 3. Effect of dietary sesamol on the liver (A) and kidney (B) tissue lipid peroxidation induced by AAPH. Each value is the mean±SD(n=10).

*Significantly different from control group at $p < 0.05$ by t -test. MDA: malondialdehyde.

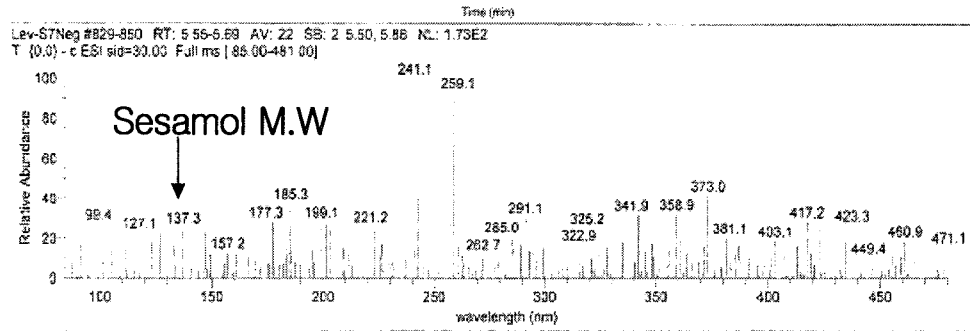


Fig. 4. Spectrum on the LC-mass of liver tissue of a rat fed a diet containing 0.5% sesamol.

Table 5. Concentration of sesamol and its metabolites in each organs of a rat fed a diet containing 0.5% sesamol

	Sesamol	
	Free (nmol/mg protein)	Conjugated
Liver	0.037 ± 0.01 ¹⁾	0.041 ± 0.01
Kidneys	0.049 ± 0.02	0.050 ± 0.01
Stomach	ND ²⁾	ND
Small intestine	ND	ND
Large intestine	ND	ND

¹⁾ Values are means ± SD.

²⁾ ND is not detected.

0.01 nmol/mg protein이 그리고 sulfatase 및 glucuronase로 처리한 conjugated 형태로 0.041 ± 0.01 nmol/mg protein로 대사하고 있어 free보다 conjugated 형태로 대사되는 것으로 나타났고 신장조직에서도 free 형으로 0.049 ± 0.02 nmol/mg protein, conjugated형으로 0.050 ± 0.01 nmol/mg protein로 다량 대사되는 것으로 나타났다. 그러나 기타 소장, 대장 및 위와 췌장에서는 free 및 conjugated 작용을 거친 대사산물을 확인할 수 없었다. 이는 sesamol이 분자량이 적어 신장과 간장을 제외한 다른 조직에 축적되지 않았을 것으로 추정된다. 다수의 연구결과(7) 분자량이 큰 물질들은 간과 신장에서 다량 검출되었고 특히 대장 및 소장에서도 검출되는 것으로 나타나 분자량에 따른 물질의 대사작용이 다르고 축적되는 조직도 다를 것으로 추정되는데 이는 더 자세한 연구가 필요할 것으로 생각된다. Sesamol을 섭취시킨 흰쥐의 간과 신장을 HPLC chromatogram을 이용하여 분석한 결과 sesamol을 급여한 흰쥐의 간 조직에서 미량의 sesamol peak를 확인할 수 있었고 control군에서는 피크가 나타나지 않았다. 이를 FAB-MS spectrum(Fig. 4, 이때 mounting matrix로서 glycerol 대신 *m*-nitrobenzylalcohol을 사용하였음)으로부터 분자량이 138인 sesamol을 확인할 수 있었고 기타 분자량 241과 259의 가진 미지의 물질을 확인할 수 있었는데 이 물질의 동정은 물질양이 적고 UV를 확인할 수 없어 동정에는 미치지 못했다.

요 약

본 연구에서는 참깨 내 리그난 성분 중 하나인 sesamol의 신체 내 대사과정을 이해하고 항산화 활성이 있는지 측정하고자, 생후 8주령의 Sprague Dawley 수컷 흰쥐 20마리를 control군(n=10)과 0.5% sesamol군(n=10) 급여군으로 나누어 3주간 사육한 후 조직 중 sesamol 대사물을 측정하고 조직의 과산화 지질 함량, glutathione 함량, glutathione-S-transferase 활성 및 항산화 효소 활성 분석을 실시하였다. 실험 결과 실험동물의 장기무게에 있어 간과 신장 모두 일반식이군에 비해 sesamol 급여군의 무게가 약간 높게 나타났고, 간 조직 내 glutathione함량은 일반식이가 sesamol을 급여한 군보다 높게 나타나 sesamol의 급여로 인한 glutathione-S-transferase 활성 증가에 전자공여체로 작용했기 때문인 것으로 생각된다. Sesamol이 간 조직 내 glutathione peroxidase 활성에 미치는 영향을 측정한 결과 sesamol 급여군이 일반식이군에 비해 유의적으로 높은 수치를 나타내어 sesamol이 생체내에서 glutathione peroxidase의 활성을 높여줌을 확인할 수 있었으며 sesamol을 급여함에 따라 catalase활성 또한 증가되는 것을 확인할 수 있었다. HPLC를 이용한 sesamol의 대사산물의 측정 결과 sesamol을 섭취시킨 쥐의 간과 신장에서 sesamol peak가 확인되었으나 대장과 소장, 췌장 및 위에서는 sesamol peak가 발견되지 않았다. 또한 FAB-MS spectrum 측정 결과 분자량 138의 sesamol과 기타 241과 259의 intense를 나타내는 미지의 분자량을 측정하였으나, 물질 양이 적어 동정에는 이르지 못했다. 이상의 결과로 sesamol의 생체내에서 항산화 redox system을 거쳐 대사되고 간과 신장에 축적되어 항산화 효과를 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 주식회사 오뚜기 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문헌

1. Tunde-Akintunde TY, Akingunde BO. 2004. Some physical properties of sesame seed. *Biosystems Engineering* 88: 127-129.
2. Namiki M. 1995. The chemistry and physiological functions of sesame. *Food Rev Intl* 11: 281-329.
3. Asami S, Akimoto K, Abe K, Akamatsu T, Konishi K, Shimizu S, Sugano M, Yamada H. 1993. Antioxidant activity of sesamin on NADPH-dependent lipid peroxidation in liver microsomes. *Nippon Nogeikagaku Kaishi* 67: 265-271.
4. Fukuda Y, Nagata M, Osawa T, Namiki M. 1986. Chemical aspects of the antioxidative activity of roasted sesame seed oil and the effect of using the oil for frying. *Agric Biol Chem* 50: 857-862.
5. Nagata M, Osawa T, Namiki M, Fukuda Y, Ozaki T. 1987. Structures of antioxidative bisepoxy lignans, sesaminol and its isomers, transformed from sesamoli. *Agric Biol Chem* 51: 1285-1289.
6. Hirata F, Fujita K, Ishikura Y, Hosoda K, Toshitsugu I, Nakamura H. 1996. Hypocholesterolemic effect of sesame lignan in human. *Atherosclerosis* 122: 135-136.
7. Kang MH, Naito M, Tsujihara N, Osawa T. 1998. Sesamol inhibits lipid peroxidation in rat liver and kidney. *J Nutr* 128: 1018-1022.
8. Nakai M, Harada M, Nakahara K, Akimoto K, Shibata H, Miki W, Kiso Y. 2003. Novel antioxidative metabolites in rat liver with ingested sesamin. *J Agric Food Chem* 51: 1666-1670.
9. Yamashita K, Nohara Y, Katayama K, Namiki M. 1992. Sesame seed lignans and γ -tocopherol act synergistically to produce vitamin E activity in rats. *J Nutr* 122: 2440-2446.
10. Ryu SN, Kim KS, Lee EJ. 2002. Current status and prospects of quality evaluation in sesame. *Korean J Crop Sci* 47: 140-149.
11. Simons SS, Johnson DF. 1978. Reaction of o-phthalaldehyde and thiols with primary amines: Fluorescence properties of 1-alkyl (and aryl) rho-2-alkylisoindoles. *Ann Biochem* 90: 705-725.
12. Johansson LH, Borg LA. 1988. A spectrophotometric method for determination of catalase activity in small tissue samples. *Analytical Biochemistry* 174: 331-336.
13. Flohe L. 1992. Determination of glutathione peroxidase. In *CRC Handbook of free radicals and oxidations in biomedicine*. CRC press Inc, FL, USA. p 281-286.
14. Habig WH, Pabst MP, Jakoby WB. 1974. Glutathione S-transferase. *J Biol Chem* 249: 7130-7139.
15. Buege JA, Aust SD. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology* 52: 302-306.
16. Hirose N, Doi F, Ueki T, Akazawa K, Chijiwa K, Sugano M, Akimoto K, Shimizu S, Yamada H. 1992. Suppressive effect of sesamin against 7,12-dimethylbenz(a)anthracene induced rat mammary carcinogenesis. *Anticancer Res* 12: 1259-1266.
17. Sung HJ, Kang MH, Chung HK, Song ES, Jeong MH, Lee JB. 2001. Antioxidant effects of sesamin and sesamol in streptozotocin-induced diabetes mellitus rats. *J Fd Hyg Safety* 16: 349-354.
18. Kang MH, Min KG, Ryu SN, Bang JK, Lee BH. 1999. Effects of defatted sesame flour on oxidative stress induced by ethanol-feeding in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 907-911.
19. Kang MH, Naito M, Kwai Y, Osawa T. 1999. Antioxidative effects of dietary defatted sesame flour L in hypercholesterolemia rabbits. *J Nutr* 129: 1885-1990.
20. Rulido R, Bravo L, Saura-Calixto F. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing antioxidant power assay. *J Agric Food Chem* 48: 3396-3402.

(2004년 11월 9일 접수; 2004년 12월 31일 채택)