

참깨 리그난 성분의 화학구조와 생리활성

류수노*[†] · 이은정* · 윤혜신* · 강삼식**

*한국방송통신대학교 농학과, **서울대학교 약학대학 천연물과학연구소

Chemical Structure and Physiological Activity of Lignan Component in Sesame

Su-Noh Ryu*[†], Eun-Jung Lee*, Hye-Shin Yoon*, and Sam-Sik Kang**

*Department of Agricultural Science, KNOU, Seoul 110-791, Korea

**College of Pharmacy, Department of Manufacturing Pharmacy, Natural Product Research Institute, SNU, Seoul 110-460, Korea

ABSTRACT: Sesame seed are one of the oldest oil-bearing crops known to man. Not only are they nutritious, they are physiologically beneficial. Because of these properties, the promotion of sesame as a crop is set to increase from now on. The lignan component of sesame, which has an antioxidative function, varies considerably. In addition, the seeds remain viable for longer than other crops. At low temperature, it has been reported that the seed remain viable for up to thirty years. This is due to the lignan content of the seeds. In the last twenty years, the mysteries of the natural chemistry of sesame seeds have been unravelled one by one. Up to now, the lignan component has been found to have an α -tocopherol synergist effect, an anti-aging effect, a cancer suppressing effect, a hypertension reduction effect, an effect on the promotion of liver function, an effect on the control of the ration of unsaturated fat, and an effect on the synthesis of unsaturated fatty acids. The lignan component of sesame does not simply have an anti-oxidant function, but has diverse recently discovered physiological uses which make the study of lignan highly rewarding.

Keywords : Sesame, lignan, physiological activity

참깨가 유지식품 중에서도 특히 귀중한 것으로서 세계에서 널리 사용하게 되는데에는 여러 가지 약효를 갖는 건강에 좋은 식품이라고 깊이 믿어 왔기 때문이다. 참깨의 주성분은 지질로서 약 50%를 함유하고 있다. 지질의 지방산 조성은 올레산과 리놀레산을 주체로 하는 트리글리세라이드이며 오메가-3 지방산의 리놀렌산이 거의 없는 것이 특징이다. 리놀레산은 필수지방산으로 세포막이나 리포단백질의 구성성분으로 프로스타글란딘의 전구체로서 중요하지만 섭취과잉은 오히려 면역

능력을 약화시키므로 좋지 않다고도 한다. 또한 올레산은 HDL콜레스테롤을 저하시키지 않으면서 콜레스테롤을 저하는 작용이 있다. 참깨에는 이 두 지방산이 반반씩 들어있어 영양학적으로나 유지의 안정성면에서 바람직하다고 할 수 있다. 비타민류는 B₁, B₂ 등은 많으나 A, C는 없다. 참깨의 토코페롤은 대부분이 γ -토코페롤이며 α -토코페롤은 거의 없는 것이 큰 특징 중의 하나이다. γ -토코페롤은 비타민 E효과가 α -토코페롤의 5%정도밖에 효과가 없으므로 참깨는 오히려 비타민 E가 적은 식품이라 할 수 있다. 참깨의 특징적인 성분으로 세사민(sesamin), 세사몰린(sesamol), 세사미놀(sesaminol), 세사몰(sesamol)등 리그난 성분이 다량 함유되어 있다. 이들 리그난 성분의 화학적 구조와 생리활성 기능연구 결과를 종합 정리하여 보고한다.

리그난의 화학구조

*Sesamum*속 식물 특히 참깨(*S. indicum*) 씨로부터 분리 보고된 리그난 성분 중 가장 잘 알려진 화합물은 sesamin이다. 이 화합물은 대표적인 furofuran계 리그난 성분이며 이 외에도 수종의 유사한 구조를 갖는 리그난 성분들이 보고 되었다. 즉 sesamol, sesamolol, pinoselin, piperitol, kobusin, episesamin, sesaminol 등이 분리 보고 되었다(Kato *et al.*, 1998; Osawa *et al.*, 1985; Fukuda *et al.*, 1986). 이들 성분 이외에도 tetrahydrofuran 리그난계 화합물에 속하는 새로운 화합물인 episesaminone이 분리 보고 되었다(Marchand *et al.*, 1997). 야생참깨(*S. angolense*)의 참기름으로부터 sesangolin이 분리되어 보고 되었으며(Jones *et al.*, 1962), 또 다른 *Sesamum*속 식물인 *S. alatum*의 씨로부터 2-episesalatin이 분리 보고 되었으나, sesamin이나 sesamol은 함유되어 있지 않다고 보고 되었다(Kamal-Eldin A. & Yousif, 1992).

이들 리그난 성분에 당이 결합되어 글리코사이드 형태로 존재하는 리그난 글리코사이드도 최근에 여러 종 분리보고 되었

[†]Corresponding author: (Phone) +82-2-3668-4631 (E-mail) ryusn@knou.ac.kr

<Received September 3, 2003>

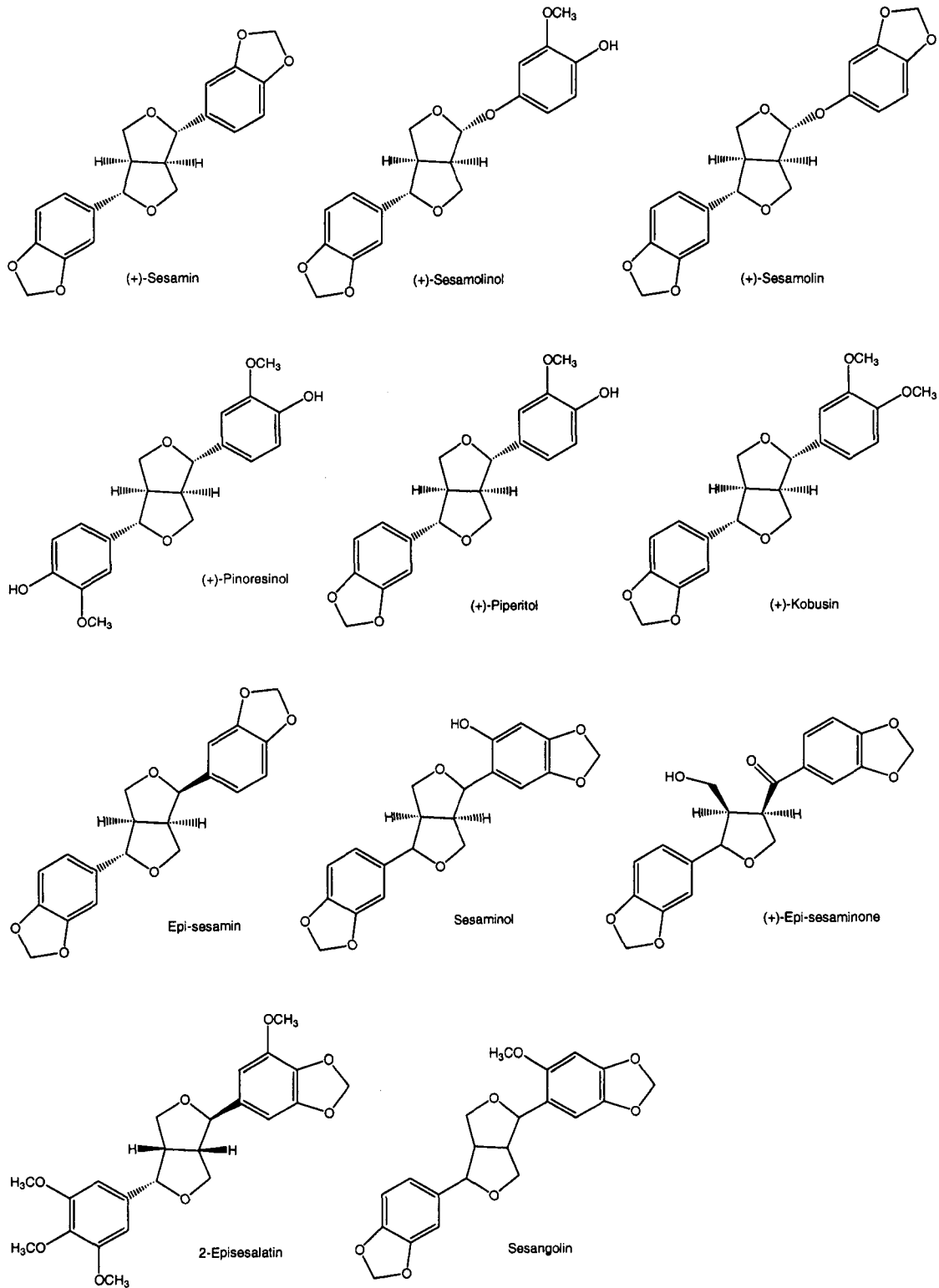


그림 1. 리그난의 화학구조(1).

다. 아글리콘으로는 pinoresinol(Katsuzaki *et al.*, 1992; 1994) 및 sesaminol(Katsuzaki *et al.*, 1994)로 밝혀졌으며, 1몰의

glucose가 결합되어 있든가, 또는 2몰의 glucose가 1→2 결합 및 1→6 결합 또는 3몰의 glucose가 혼합된 형태인 1→2[1→

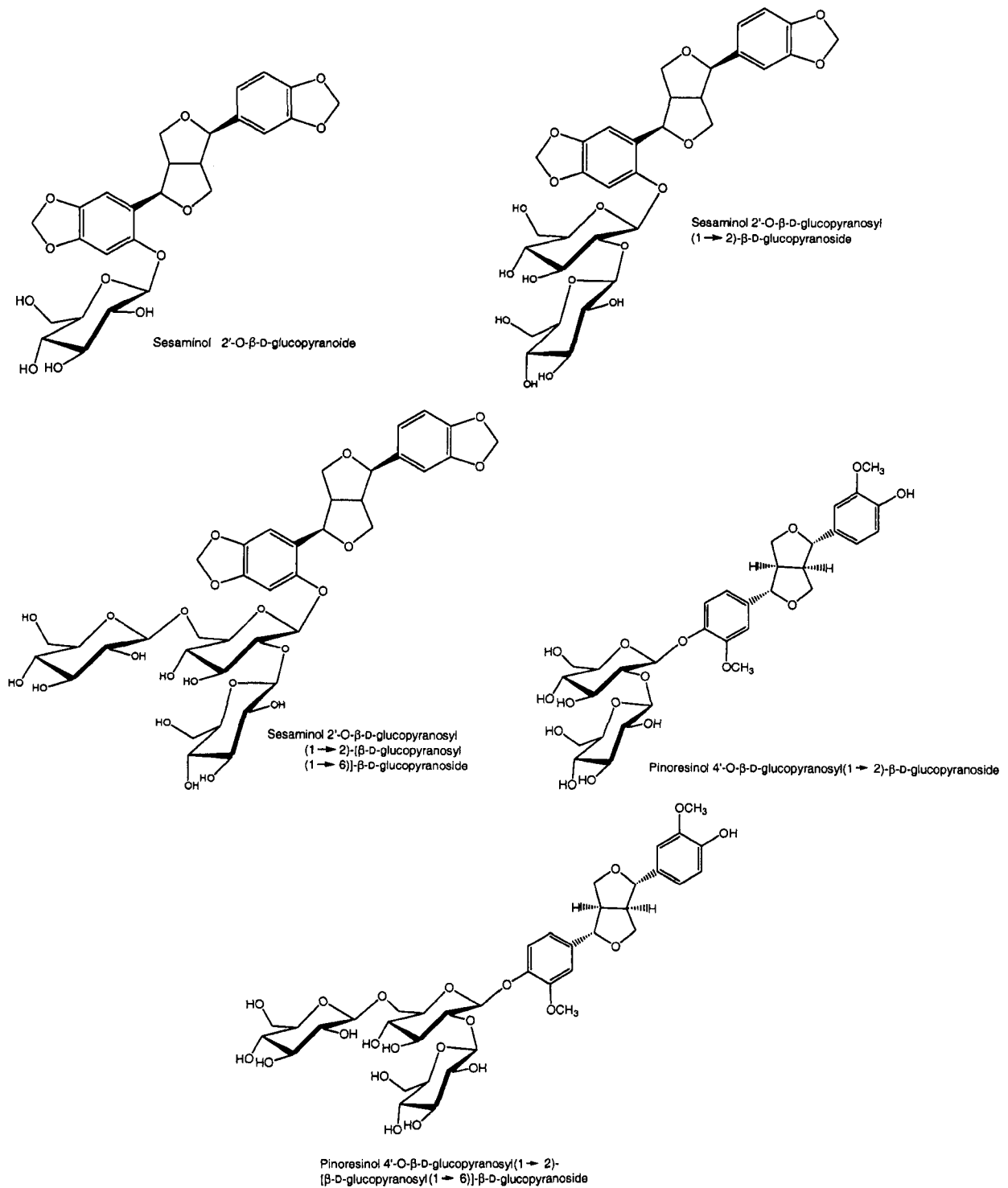


그림 2. 리그난의 화학구조(2).

6) 결합의 3가지 형태로 존재함이 알려졌으며 이들의 구조는 그림으로 나타내었다(그림 1, 2).

리그난 함량과 항산화작용의 차이

참깨나 참기름이 여러 가지 효능을 갖는 것은 많은 나라에서 전통적으로 알려져 왔다. 참기름의 조제방법에 따라 리그난 성분 함유량이 달라지고 있다. 또한 참기름의 종류에 따라 항산화활성이 다르다는 것도 밝혀지고 있다(上馬場和夫, 1992).

표 1. 참깨종자, 참기름, 탈지박의 리그난 종류와 함량

구분	착유방법	리그난종류	함량
종자(%)		세사민	0.07~0.61%
		세사몰린	0.02~0.5%
		세산골린(야생)	3.15%
		세사미놀 배당체	0.01~0.001%
참기름 (mg/100 g)	냉압착유	세사민	637
		세사몰린	296
		세사몰	흔적
	가열착유	세사민	696
		세사몰린	387
		세사몰	4.8
탈지박 (mg/100 g)		세사민	583
		세사몰린	30
		세사미놀 배당체	868
		세사미놀	흔적

참깨종자, 참기름, 탈지박의 리그난 함량을 표 1에서 보면 종자 중에 세사민은 0.07%에서 0.61%, 세사몰린은 0.02%에서 0.50%로 품종간의 큰 차이를 보이고 있다. 특히 흰참깨는 세사민 함량이 많은 반면 검정참깨는 세사민 비율보다 세사몰린 비율이 다소 높은 특징을 가지고 있다(Ryu *et al.*, 1993). 참기름의 착유방법에 따라서도 다소 달라지는데 냉압착유보다는 가열착유에서 리그난 함량이 높게 나타나고 항산화능력이 높게 나타나고 있다. 가열하지 않고 착유한 참기름과 거기에 여러 가지 생약을 첨가함으로써 만들어지는 참기름의 항산화능력의 차이를 조사한 결과 1개월간 중량이 변하지 않아 강한 항산화능이 있는 것으로 나타났다(上馬場和夫, 1992). 참깨 종자중의 세사민은 유색참깨에서는 대부분 종피 이외의 부위에 존재하지만 흰개에서는 종피에도 상당한 농도로 존재한다. 종피율을 고려하여 환산하면 종자립 1g당 종피부위에 세사민은 흰개가 0.5 mg, 검정개 0.25 mg이었다. 반면 세사몰린은 흰개가 0.06 mg, 검정개는 0.15 mg이었다(田代 亨, 1989).

리그난의 생리활성

항산화성: 참깨 추출 리그난류는 *in vivo*, *in vitro* 계에서 항산화능력이 뛰어난 것으로 알려지고 있다. 세사미놀은 사람 혈청 중의 저밀도리포단백질(LDL)에 구리 이온을 가하면 생성되는 LDL과산화지질과 TBA반응물질(TBARS)을 측정하였더니 고지혈증의 치료약으로서 시판되는 프로부콜(probucol)이나 알파-토코페롤보다도 훨씬 강한 억제효과를 보여주고 있다(Kang *et al.*, 1998. Miura *et al.*, 1998).

14일간 쥐에 세사몰린 사료를 투여한 경우에 간장과 신장에서의 지질과산화 반응이 억제되는 것과 동시에 노인병의 중요한 biomaker가 되는 8-OHdG 배설량이 감소하는 결과가 발표되고 있다(勝崎裕隆 외, 1992). 지금까지 *in vitro*계에서 항산화성을 나타내지 않았던 세사몰린은 기름의 정제과정에서 세

사미놀로 변환되지만 생체내에서의 세사몰린은 세사미놀로 변환되지 않고 세사몰이나 세사몰리놀로 대사되어 항산화성을 나타내는 것으로 밝혀지고 있다.

참깨 종자 중에 수용성의 리그난 배당체 특히 세사미놀 배당체가 다량으로 존재하는 데 이들은 식품으로 섭취된 후에 장내세균이 갖는 β -글루코시드 가수분해효소가 작용하여 아글리콘으로 가수분해된 다음에 장관에 흡수되어 혈액을 거쳐 각 장기에 이르러 생체막 등의 산화적 장애를 방어한다는 것도 중요한 역할로 알려지고 있다(Osawa *et al.*, 1991).

다른 식용유에 비하여 참기름의 극히 높은 산화안정성은 참깨의 특징적인 성분인 리그난 물질이 관계하고 있음이 밝혀지고 있다(Namiki M *et al.*, 1988).

작물학적인 면에서 참깨는 다른 작물에 비해서 수명이 길다. 저온에서 저장한 것은 30년이 지나도 발아율은 별로 저하되지 않는다. 이와 같은 수명의 길이는 종자가 세사민, 세사미놀 등의 항산화물질을 함유하는 것과 관계가 있는 것으로 추측된다.

리그난과 α -토코페롤의 상승작용: 자연계에는 비타민 E활성을 갖는 동족체가 8종류 존재하고 그 생리활성은 동족체간에 크게 다르며 그 중 α -토코페롤이 높은 생리활성을 나타낸다. 참깨에는 특이하게 생리활성이 낮은 γ -토코페롤이 98% 함유되어 있다. 비타민 E 효력을 가늠하면 참깨는 매우 낮은 비타민 E 효력을 갖는 셈이 된다.

세사민의 혈청콜레스테롤 농도 저하작용은 α -토코페롤의 공존하에서 증강된다(Nakabayashi *et al.*, 1995). 비타민 E를 전혀 함유하지 않은 사료를 대조군으로 하여 비타민 E 급원으로 α -토코페롤, γ -토코페롤, 참깨를 사용한 사료로서 쥐를 8주간 사육하고 비타민 E 활성을 조사하였다. 조사결과 비타민 E 결핍군과 γ -토코페롤군은 비타민 E 결핍상태를 보이는 지표들이 모두 낮아 α -토코페롤은 γ -토코페롤에 비하여 확실히 비타민 E 활성이 높은 것으로 증명되었다.

참깨 리그난이 γ -토코페롤과 상승적으로 작용하여 γ -토코페롤량 만으로는 판정할 수 없는 높은 비타민 E 활성을 나타내는 것이 증명되었다. α -토코페롤의 섭취가 적을 때에 참깨를 섭취하면 비타민 E 부족상태가 개선되며 생체 내의 비타민 E 활성이 상승한다(Ramashita *et al.*, 1995). 참깨의 주요 리그난은 세사민이지만 토코페롤 농도 상승효과는 같은 농도의 세사민보다 참깨쪽이 크다. 따라서 참깨의 효과는 세사민 뿐만이 아니고 세사민 이외의 물질이 관여하는 것으로 밝혀지고 있다.

참깨 리그난은 생체내 α -토코페롤양도 현저하게 상승시키는 효과를 갖는다. α -토코페롤 존재하에 참깨를 섭취하면 간장에 존재하는 α -토코페롤 수송단백질의 토코페롤 동족체 식별작용에 의하여 생체내에는 α -토코페롤만이 고농도로 낮고 γ -토코페롤은 생체밖으로 배출되어 버린다는 사실이 밝혀졌다(山下 かなへ *et al.*, 1990). 참깨에 대해서 알려지고 있는 노화억제 효과의 일부는 이 리그난 성분에 의한 비타민 E 활성 증강 효과로서도 설명하고 있다.

노화억제효과: 참깨 투여에 의한 노화촉진 모델 흰쥐의 노후징후를 평가한 결과 참깨 20% 함유 사료로서 개월간 사육하고 노화의 진전을 Hosokawa 등(1984)의 방법으로 평가한 결과 참깨 첨가군은 체모의 노화나 과산화지질 노화색소인 리보푸스틴량이 저하하는 것으로 밝혀지고 있다. 즉, 참깨 리그난에 의해 노화원인 물질의 축적을 억제하는 것으로 보고하고 있다(山下かなへ *et al.*, 1990). 참깨 종자에는 배당체로서 세사미놀이 100 g당 약 100 mg 함유되어 있는데 이 세사미놀의 생리효과를 밝히는 실험이 진행되었다. 비타민 E 50% 결핍식과 0.1% 세사미놀 첨가 사료로 사육후의 노화도를 비교한 결과 노화촉진모델 쥐의 촉진노화가 참깨 투여로서 억제되고 토코페롤이 없는 사료에서 참깨를 투여하여도 노화는 억제되었으며, 참깨 대신 리그난이 세사미놀의 투여에서도 노화억제효과가 인정되었다.

암세포 증식 억제 효과: 리그난 화합물이 암세포 증식에 관여하는 정도는 주로 *in vivo*계 중심으로 진행되어 왔다. 참깨 세사민을 섭취한 쥐는 α -토코페롤과 유사한 유방암의 세포증식 억제 효과를 보고 하였다. 세사민을 경구 섭취한 경우에도 화학발암제 투여로 인한 유방암 유발 조건에서 억제작용을 하는 것으로 밝혀지고 있다(Hirose N *et al.*, 1992).

세사민을 섭취한 쥐는 α -토코페롤에 필적하는 유방암 세포증식 억제효과를 나타내었다. 세사민은 토코페롤과 동등한 항산화능을 나타내었는데, 토코페롤과는 대조적으로 말초혈 단핵세포의 활성을 유의적으로 상승시켜, 혈장의 프로스타글란딘 E₂ 농도를 저하시켜 암발생억제효과의 메커니즘으로 해석하고 있다.

세사민의 혈청콜레스테롤 저하작용과 관련하여 체지방과 항산화작용 관련 연구가 일본, 한국에서 추진되고있다. 합성항산화제인 BHT가 쥐의 분문동(전위)에 암을 일으킬 가능성이 있기 때문에 페놀성 항산화제인 세사민에 대한 검토가 이루어지고 있다(Ryu *et al.*, 1998). 세사민과 세사민린, 세사미놀의 발암억제효과에 대해서는 금후의 연구가 필요하며 특히 토코페롤과의 공동효과에 대하여 확인할 필요가 커지고 있다.

혈압상승 억제작용: 참깨 리그난 중에서 가장 많은 세사민을 가지고 고혈압 모델 조건하에서 세사민이 혈압상승억제작용을 발휘하는 것으로 밝혀진 바 있다. 데옥시코르티코스테론 아세테이트(DOCA)식염 미부하 보통섭취군을 대조군으로 하고, 실험군은 DOCA 식염부하군, 1% 세사민을 강화한 사료를 먹인 DOCA 식염 부하 세사민 식이군으로 하여 1주간마다 각 군의 혈압을 측정하고 5주째에 심장, 흉부대동맥 및 장간막 동맥을 적출하여, 심장비대 및 혈관비후에 대한 작용을 조사한 결과 DOCA 식염 미부하 보통식이군과 비교하여 DOCA 투여 및 식염부하의 보통식이군의 혈압은 상승하였으나 세사민 투여로 혈압의 상승이 효과적으로 억제되었다. 또 DOCA 식염부하군에서 볼 수 있었던 심장비대의 형성 및 혈관 비후도 세사민 투여에 의하여 유의적으로 억제되어 세사민

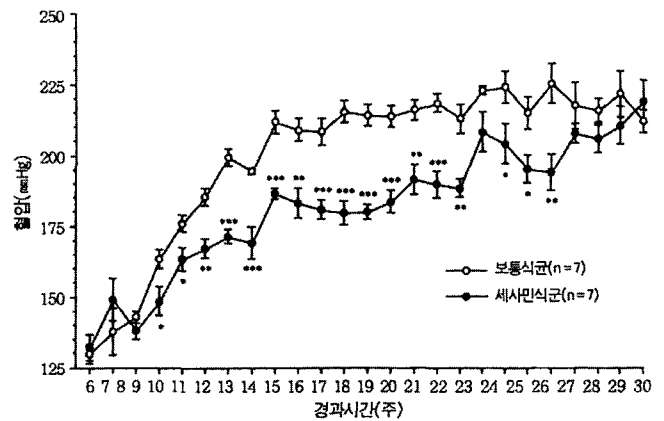


그림 3. 세사민의 식염부하 뇌졸중 이발증성 고혈압 자연발증 쥐에 대한 효과.

의 예방적인 혈압상승 억제작용이 인정되었다(Matsumura *et al.*, 1995). 수컷쥐 6주령을 1군에 7마리씩 2군으로 나누고 1% 식염수를 섭취시켜 보통식으로 사육한 보통식과, 실험군은 1% 세사민을 강화한 사료를 투여하여 세사민 식으로 하였다. 1주간마다 각 군의 혈압을 측정하고 24주간째에 심장, 신장, 흉부대동맥 및 장간막 동맥을 적출하여 신장의 조직학적 검색과 심장비대 및 혈관비후에 대한 작용을 조사한 결과 보통식군에 비하여 세사민식군은 혈압의 상승을 유의적으로 억제하였다. 또 보통식군에서 볼 수 있었던 심장비대의 형성 및 혈관비후도 세사민 투여로서 유의적으로 억제되었다(Matsumura *et al.*, 1995)(그림 3).

항동맥경화작용과 관련하여 여러 가지의 고혈압모델 조건하에서 세사민은 강압작용을 하는 것으로 보고 되고 있다. 사료 중에 1% 첨가된 세사민은 신동맥의 혈압상승에 대해서도 억제작용을 나타내고 흉부대동맥의 비대도 억제되었다(Kita S *et al.*, 1995). 고혈압과 동맥경화의 예방에 세사민이 유효하다는 사실이 밝혀지고 있다.

간기능 증강효과: 쥐에 세사민을 사료 중 0.5% 정도의 수준으로 섭취시키면 일과성의 가벼운 간비대가 인정되지만 이것은 인지질의 증가를 수반시키고 있어 콜레스테롤이나 트리글리세라이드는 도리어 저하한다고 보고된 바 있다(Sugano M *et al.*, 1990, Hirose N *et al.*, 1991). 알콜은 통상 간장 미토콘드리아의 알콜 탈수소효소에 의해 산화되지만 다량 섭취하면 마이크로솜과 페르옥시솜의 대사계가 작동한다. 세사민을 섭취한 쥐에 다량의 알콜을 투여하면 혈중의 알콜농도에는 거의 영향을 미치지 않지만 혈중에서의 알콜의 소실속도가 빨라지는 것이 관찰되었다. 쥐에 에탄올을 투여하고 세사민의 효과를 검토한 결과 간장에의 지방침착 뿐만 아니라 혈청의 GOT, GPT 등 간기능지표도 세사민 섭취로서 현저히 개선된다고 확인되고 있다(Akimoto *et al.*, 1993). 알콜섭취에 의한 근육이완에 대해서 세사민은 용량의존적으로 경감작용을 나타내고 동시에 이완으로부터의 회복도 촉진하는 것이 관찰되고

있다(楊志博, 1995). 이와같이 세사민은 알콜섭취에 따른 제기능의 변화에 대하여 바람직한 개선효과를 발휘하는 것으로 알려져 있다(秋元健吾 *et al.*, 1994).

생체내 불포화지방산 비율의 조절 작용: 포화지방산은 혈청 콜레스테롤 농도를 상승시키는 인자로 알려져 있기 때문에 식사지방에 의한 혈청콜레스테롤 농도의 저하를 위해서는 포화지방산의 섭취량을 감소시키고 반대로 혈청 콜레스테롤 농도의 저하작용을 갖는다고 하는 불포화지방산의 섭취량을 상대적으로 증가시키는 것이 좋은 것으로 알려져 있다. 불포화지방산으로는 올레산이나 리놀레산이 중심이며 오메가-3계의 지방산에는 그다지 많은 관심을 갖지 않았었다. 최근의 연구에 의해서 α -리놀렌산을 비롯한 오메가-3계 불포화지방산의 필수성이 많은 지표를 사용한 연구에서 오메가 6계와 오메가-3계의 지방산 섭취비율이 보다 중요시하게 되었다. 오메가-6계와 오메가-3계의 지방산의 섭취비율은 동맥경화, 암, 알레르기 등과의 관련에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다. 1994년에 공표된 일본인의 양자비율은 4:1로 하는 것이 적정하다고 하였고 많은 나라가 이 비율을 10 : 1-4 : 1로 하고 있다.

식생활의 서구화에 따라서 오메가-6/오메가-3계 지방산의 균형을 유지하기가 쉽지 않다. 참깨 리그난을 첨가하면 오메가-6계의 아라키돈산 량의 상승이 억제되고 오메가-6/오메가-3의 비에 있어서도 아라키돈산 첨가로서 상당한 상승을 보였지만 여기에 리그난을 투여하면 그 상승이 억제되었다.

참깨 리그난이 생체 내의 극단적인 오메가-6/오메가-3 비율의 변화, 즉 오메가-3계 지방산에 기울은 식사에 의한 오메가-6/오메가-3 비율의 저하 뿐만 아니라 오메가-6계 지방산에 기울은 식사에 의한 오메가-6/오메가-3 비율의 상승에 대해서도 정상적인 범위로 균형을 근접시키는 작용이 있는 것으로 판명되고 있다(Umeda-Sawada R. *et al.*, 1995). 금후 참깨를 이용할 경우 오메가-6계 지방산/오메가-3계 불포화지방산의 조절이 가능하게 될 것으로 보인다.

표 2. 참깨 리그난의 주요 기능

리그난	기능
세사민(Sesamin)	콜레스테롤저하작용 고도불포화지방산 생합성저해 혈청콜레스테롤 농도저하작용 α -토코페롤의 상승효과 혈압저하작용 간 기능의 증강작용, 암세포의 증식억제효과 생체내 n-6/n-3 다가불포화지방산비율 조절 작용
세사몰린(Sesamolol)	생체내 항산화작용 노화억제작용 암세포생장억제효과
세사미놀(Sesaminol)	항산화효과 노화억제효과 비타민 E 상승효과

고도 불포화지방산 생합성 저해: 참깨에는 $\Delta 5$ 불포화화 반응을 특이하게 억제하는 인자가 존재한다(Shimizu S, 1989). 아라키돈산의 축적을 억제하고 균체의 디호모 γ -리놀렌산 함량을 높이는 활성은 세사민>세사미놀>에피세사민의 순으로 강하고, 세사몰린은 분해되어 활성을 나타내지 않았다.

0.5%의 세사민을 함유하는 사료로서 13일간 사육하여 간장, 혈장, 혈구의 지방산 조성을 측정하면 세사민 무첨가사료로 사육한 것과 비교하여 디호모- γ -리놀렌산 양은 각각 2.1, 1.8, 1.3배로 증가하여 $\Delta 5$ 불포화화효소 저해효과가 지방산 조성에 반영된다는 것도 확인되고 있다(Sugano M. 1990, Akimoto K. 1993). 이들 참깨 리그난류의 기능을 종합 정리하면 표 2와 같다.

맺 음 말

참깨는 인류가 이용하는 유지작물 중에서 가장 오래된 작물 중의 하나이다. 참깨식품의 매력은 영양가가 많을 뿐만 아니라 생리활성기능이 뛰어나다는 점이다. 이러한 점 때문에 고대로부터 건강증진을 위하여 참깨를 즐겨 이용해 왔다.

참깨의 이용방법과 품종에 따라서 리그난 함량과 항산화활성은 큰 차이를 보이고 있다. 또한 참깨는 다른 작물에 비하여 종자수명이 매우 길다. 특히 저온조건에서 저장한 것은 30년 이상 발아율을 유지하는 것으로 밝혀지고 있다. 그것은 참깨종자가 가지고 있는 리그난 성분과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다.

최근 20여 년간의 식품, 천연물 화학분야의 비약적인 연구와 더불어 참깨의 전통적인 신비가 하나하나 밝혀지고 있다. 지금까지 밝혀진 참깨 리그난의 기능은 항산화활성효과, 알파 토코페롤의 상승효과, 노화억제효과, 암세포의 증식억제효과, 혈압상승억제효과, 간기능 증강효과, 생체내 불포화 지방산 비율의 조절효과, 고도 불포화지방산의 생합성 저해효과 등이다.

참깨 리그난 성분의 항산화활성 뿐만 아니라 다양한 생리활성기능이 밝혀짐에 따라 참깨 리그난 성분에 대한 학문적 흥미가 커지고 있다.

인용문헌

- Afaf K. E., Lars Åke A. 1995. *Lipids* 30 : 499-505.
 Akimoto K., Kitagawa Y., Akamatsu T., Hirose N., Shimizu S., and Yamada H. 1993. *Ann Nutr. Netab.* 37 : 218-224.
 Eunsook T. Koh, 1987. *Nutr. reports Intl.* 36(4) : 903-917.
 Fukuda Y., Nagata M., Osawa T., Namik M., 1986. *JAOCs* 63(8) : 1027.
 Hirose N., Inoue T., Nishihara K., Sugano M., Akimoto K., Shimizu S., and Yamada H. 1991. *J. Lipid Res.* 32 : 629-638.
 Hosokawa M., 1984. *Mech. Aging Dev.* 26(91).
 Iizuka Y., Namiki M., Yamashita K., 1996. *日本營養・食量學會誌* 49(3) : 149-155.

- Jiong-Yan Gu, Tsujita A., Wakizono Y., Yamada K., Sugano M., 1997. *Nutr. Res.* 17(2) : 339-350.
- Jones, W. A., Beroza M., and Becker E. D. 1962. *J. Org. Chem.* 27 : 3232-3235.
- Kamal-Eldin A., Yousif G. 1992. *Phytochemistry* 31 : 2911-2912.
- Kato M., Chu A., Davin L. B., and Lewis, N. G. 1998. *Phytochemistry* 47 : 583-591.
- Katsuzaki H., Kawakishi S., and Osawa T. 1994. *Phytochemistry* 35 : 773-776.
- Katsuzaki H., Kawasumi M., Kawakishi S., and Osawa T. 1992. *Bio-sci. Biotech. Biochem.* 56 : 2087-2088.
- Kita S., Matsumura Y., Motimoto S., Akimoto K., Furuya M., Oka N., and Tanak T. 1995. *Biol Pharm. Bull.* 18 : 1283-1285.
- Marchand P. A., Kato M. J., and Lewis N. G. 1997. *J. Nat. Prod.* 60 : 1189-1192.
- Matsumura Y., Kita S., Morimoto S., Akimoto K., and Furuta M. 1995. *Biol Pharm. Bull.* 18 : 1016-1019.
- Matsumura Y., Kita S., Tanida Y., Taguchi Y., Morimoto S., Akimoto K., Furuya M., Oka N., and Tanaka T. 1998. *Biol. Pharm. Bull.* 21 : 469.
- Miura S., Matanabe J., Sano M., Tomita T, Osawa T., Hara Y., and Tomita I. 1995. *Biochem. Pharm. Bull.* 18(1) : 1-4.
- Nakabayshi A., Kitagawa Y., Suwa Y., Akimoto K., Asami S., Shimizu S., and Hirose N. 1995. *Intemat. J. Vit Nutr. Res.* 65 : 162-168.
- Ogawa H., Sasagawa S., Murakami T., and Yoshizumi H. 1995. *Clinic. Exper. Pharm. & Phys. Suppl(1)*. S310-312.
- Ogawa T. 1994. *Carcinogenesis* 13 : 1663-1666.
- Osawa T., Nagata M., Namiki M., and Fukuda Y. 1985. *Agric. Biol. Chem.* 49 : 3351-3352.
- Osawa T., 1991. *Anticarcinogenesis and Radiation Protection 2* Plenum Press, New York.
- Shimizu S, Akimoto K., Kawashima H., Shinmen Y., Yamada H., 1989, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 66(237).
- Subramaniam S, Marla R., Richard J. C., Marie M. C., and David K. 1993, *J. Nutr.* 123 : 1852-1858.
- Sugano M., Inoue T., Koba K., Yoshida K., Hirose N., Shinmen Y., and Akimoto K. 1990. *Agric Biol. Chem.* 54 : 2669-2673.
- Tamano S., Hirose M., Tanaka H., Asakawa E., Oagawa K., Ito N., 1992, *Jpn J. Cancer Res.* 83 : 1279-1285.
- Tashiro T., Fukuda Y., Osawa T., and Namiki M. 1990. *JAOCs* 67(8) : 508-511.
- Umeda-Sawada R., Osawa M., Okada Y., and Igarashi O. 1995. *Bio-sci. Biochem.* 59(12) : 2268-2273.
- Yamashita K., Iizuka Y., Imai T., and Namiki M. 1995. *Lipids* 30 : 1019-1028.
- Yamashita K., Nohara Y., Katayama K., and Namiki M. 1992. 122 : 2440-2446.
- 並木満夫, 小林貞作, 1989. *ゴマ科學*, 朝倉書店, 東京.
- 山下かなへ, 1990. *日本栄養, 食量學會誌* 43(445).
- 上馬場和夫, 1992. *なぜ人は病気になるのか*, 出帆新社.
- 楊志博, 1995. *日本營養, 食量學會誌* 48 : 103-108.
- 田代 亨, 第3回 “ゴマの科學”, 1989. *講演要旨集*.
- 秋元健吾, 1994. *日本醸造* 89 : 787-792.