

発芽ゴマ経口投与ラットの生体内脂質改善

辻原 命子 石山 絹子 *福田 靖子

Lipid Improvement of Oral administrated Pre-germinated Sesame Seeds in Rats

Nobuko TSUJIHARA, Kinuko ISHIYAMA and Yasuko FUKUDA

緒 論

ゴマ (*Sesamum indicum* L.) は、古来より健康増進効果のある食材の一つとして一般に利用されるとともに、多くの生体内調節機構を有しており数多くの研究がなされている。ごま種子には特徴的なゴマリグナン類が0.7%以上含まれ、その機能性の多くはこれらリグナンによるものであり、そのうちセサミンは抗LDL酸化、過酸化脂質抑制効果¹⁾、抗がん、抗老化作用などが報告²⁾されている。リグナンであるセサモリン、セサミノールではLDL酸化を抑制し、その効力は α -トコフェロールより高いことが報告^{3),4)}されている。リグナンはフェニルアラニンから合成され、樹木の樹皮、木質部ではリグニンの構成成分なり、種子、根などにも存在している⁵⁾。これらリグナンを摂取した場合、腸内細菌叢により分解後体内に吸収され、哺乳類のホルモンとして知られているエンテロジオール (END) やエンテロラクトン (ENL) などとして血中に存在する。またゴマは種子が発芽する際には多くの酵素が活性化され、システム的に成分の変化が起こり、発芽に伴う新たな機能性を発現する。発芽初期種子を食品化するとGABAなど機能性成分が増加するという報告⁶⁾もある。ソバ種子は芽生えの際にオリエンチン、ビテキシなどのフラボノイド量が増大すると報告されており⁷⁾、またトウモロコシにおいても発芽過程で α および γ -トコフェロール、アスコルビン酸や3-デオキシアントシアニジンの含有量が増加し、抗酸化系が誘導されることが報告されている⁸⁾。発芽ゴマは、低温流水条件下で発芽させた場合、セサミン、セサモリン量の減少はなく、その機能性が保持されていることが長島ら⁹⁾により確認されている。そこで本研究では、ごま種子を用い、発芽によるリグナン類の変化および高リグナン品種ごまぞうおよび発芽金ゴマを投与した場合の生体の脂質代謝に及ぼす影響について検討するとともに調理食品としての利用拡大を目的とし実験を行った。

実 験 方 法

1. 試料

図1に示した発芽ゴマおよび未発芽ゴマは、コダマ (株)、和田萬 (株) から供与された「ごまぞう」および「発芽ゴマ」として商品化されている金ゴマを低温 (25℃)・流水下で

* 東京農工大学応用生物科学部

24時間発芽させ焙煎した。ごまぞう（独立行政法人農業技術研究機構作物研究所2002年：品種登録）、茨木県筑波郡谷和原村中央農業研究センター谷和原旗圃場にて2002年に採取し、通風乾燥後脱粒し、低温下で保存したものを使用した。この発芽ゴマ、未発芽ゴマをスピードブレンダー（16 Speed Blender）で粉碎した後、飼料に混合し試験食として用いた。

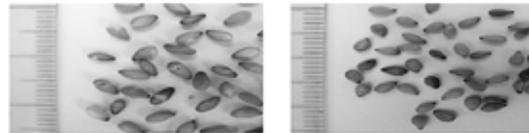
低温、流水下で24時間発芽し乾燥後焙煎したもの

低温により腐敗を防ぐ発芽の進行は遅い

和田萬(株)から供与

◆ごまぞう(独法農業技術研究機構作物研究所2002年品種登録)

◆金ゴマ(既に市販化されているもの)



金ゴマ24時間発芽(焙煎)

ごまぞう24時間発芽(焙煎)

図1 試料発芽ゴマ

2. 実験動物の飼育条件

表1 発芽ゴマ投与ラットの飼料組成 (%)

	対照群	Chol添加食群	Chol無添加食群
カゼイン ¹	25	20.8	20.8
コーンオイル ²	9	5.5(3.48)	5.5(3.48)
セルロース ¹	4	4	4
ミネラル混合 ³	4	4	4
ビタミン混合 ⁴	2	2	2
コーンスターチ ¹	56	48.97	50.22
コレステロール ²	-	1	-
コール酸Na ²	-	0.25	-
発芽ゴマ(ゴマ) ⁵	-	10	10

1.日本クレア(株)東京 2.和光純薬工業(株)東京 3.ハーバーミネラル配合
4.オリエンタル酵母(株)東京 5.和田萬(株)大阪

生後6週齢のWistar系 雄ラット（日本エスエルシー（株），浜松市）を用い、飼料組成は表1に示した。カゼイン25%、コーンオイル9%、セルロース4%、ミネラル混合4%、ビタミン混合2%、コーンスターチ56%を基本食（対照群）とし、さらに基本食にコレステロール1%を添加したコレステロール添加食群とコレステロール無添加食群に分け、試験食群には、前述のスピードブレンダーで粉碎した発芽ゴマ（発芽金ゴマおよび発芽ごまぞう）と未発芽ゴマ（金ゴマおよびごまぞう）をそれぞれ10%ずつ添加し、ミキサー（KENMIX MAJOR）を用いて混合した。供試したゴマ種子には、約60%の脂質が含まれるため、コーンオイル、コーンスターチでエネルギー量を同等になるように調整した。ラットは発芽ゴマ・未発芽ゴマ無添加の対照群、発芽金ゴマ群、金ゴマ群、発芽ごまぞう群およびごまぞう群の5群に分け、各群5匹ずつとした。飼育は各群ステンレス製の個別ケージを用い、実験環境にならすため、購入後5日間予備飼育をした後、試験食投与を開始した。飼育期間中は、週1回体重を測定し、飼料摂取量は毎日の残存量を差し引いて算出した。飲水は水道水を用い各群自由摂取とした。飼育環境は、室温23±1℃、相対湿度55±5%、12時間採光下（7:00 a.m.～7:00 p.m. 明所）の条件で、試験

食投与期間は3週間(21日)とした。飼育終了後、ラットを解剖、採血し血清および肝組織の脂質成分(総脂質・コレステロール値・トリグリセリド値・TBARS値)について分析した。

3. 臓器の摘出と血清分離

ラットは飼育終了後、10時間絶食させ、軽いエーテル麻酔を施して解剖、採血し、肝臓、腎臓および腹腔内脂肪を摘出して各湿重量を求め、組織は還流した後、生理食塩水で洗浄し、 -80°C のディープフリーザー(SANYO MDF-C8V)に保存した。血液は、採血した後30分間室温に静置し凝固後、3000r.p.m.で10分間遠心分離(KUBOTA KC-70)した上清を血清サンプルとして分析に用いた。

4. 血清成分の分析

総コレステロール(T-chol)値は、和光純薬工業(株)のキット試薬、総コレステロールEテストワコー(コレステロールオキシダーゼ・DAOS法)を用いた。トリグリセリド(TG)値は、(株)アズエルのネスコートTGキットGN(L-グリセロール3-リン酸オキシダーゼ・酵素法)を用いた。チオバルビツール酸反応陽性物質(以下TBARS値と略す)は、内藤ら¹⁰⁾の方法により測定した。

5. 肝臓の脂質成分の分析

肝臓の総脂質は、肝組織1.0g前後を精秤し、クロロホルム・メタノール(v/v=2:1)混液(Forchの液)で摩砕抽出し、全量を50mlに定容したものを試料溶液とした。これより20mlを予め恒量を求めておいた共栓付50ml容三角フラスコに採取し、 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ の湯浴で蒸発乾固した後、 105°C に設定したオープン(FC-410)で乾燥、放冷、秤量を繰り返し、重量法にもとづいて算出した。コレステロール値は、上述の試料溶液より0.1mlを10ml共栓試験管に採取し、 70°C の湯浴上で蒸発乾固した後、Zak-Henly法にもとづいて測定した。また肝臓のTBARS値については、 -80°C (SANYO MDF-C8V)で凍結保存しておいた肝組織1.0g前後を精秤し、3mM-トリス塩酸バッファ(3mM-Tris, 2.5M-ショ糖, 0.1mM-EDTA pH7.4)を加えて10%ホモジネートを作成し、これを試料溶液とし内藤ら¹⁰⁾の方法により測定した。

6. 統計処理

得られたデータは分散分析を行い、Duncanのmultiple range testを用いて群間の有意差($p<0.05$)検定をおこなった。

結果および考察

1. ラットの体重および平均飼料摂取量への影響

飼育期間中のラットの平均体重は、図2に示したようにコレステロール添加およびコレステロール無添加食の対照群、発芽ゴマ食投与群間に有意な差は認められなかった。一般的に香ばしい焙煎の香りは、ヒトにとって嗜好性の良いものとして評価され、食欲増進効果がある。飼育期間中の平均飼料摂取量は、コレステロール添加食群で(23.1~23.3g/匹/日)、コレステロール無添加食群で(23.0±24.3g/匹/日)となり、いずれの群も対照群と比較して順調な生

育であった。

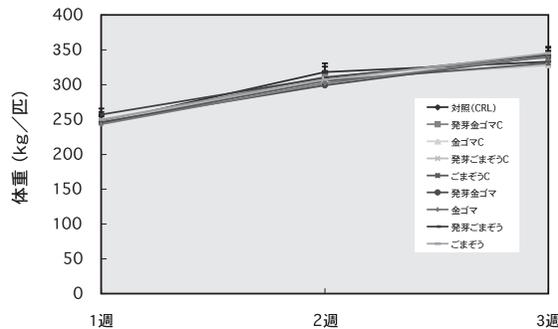


図2 発芽ゴマ投与ラットの平均体重

2. 血清脂質成分への影響

血清中の総コレステロール値、トリグリセリド値およびTBARS値の測定結果は表2に示した。リグナン含有量の高いごまごうの機能性については、肝細胞における脂肪酸代謝酵素活性

表2 発芽炒りゴマ投与ラットの血清コレステロール値、トリグリセリド値および TBARS 値

	コレステロール添加群					コレステロール無添加群				
	対照 (Chol)	発芽金ゴマC	金ゴマC	発芽ごまぞうC	ごまぞうC	対照 (CRL)	発芽金ゴマ	金ゴマ	発芽ごまぞう	ごまぞう
血清Chol値 (mg/dl)	138±34.3 ^a	91±12.2 ^b	120±21.7 ^a	83±13.6 ^b	107±8.7 ^c	77±5.7 ^b	65±6.3 ^b	76±7.5 ^b	76±7.5 ^b	71±5.7 ^b
血清TG値 (mg/dl)	150±3.0 ^a	138±32.8 ^a	156±31.1 ^a	132±22.9 ^a	143±19.5 ^a	83±16.3 ^b	83±21.1 ^b	76±18.3 ^b	76±18.3 ^b	77±17.6 ^b
血清TBARS値 (nmol/ml)	5.71±0.61 ^a	3.79±0.60 ^b	5.05±1.08 ^a	3.65±0.37 ^b	3.79±0.70 ^b	4.17±1.45 ^{a,b}	3.31±0.78 ^b	3.45±0.54 ^b	2.99±0.76 ^b	3.10±0.66 ^b

p<0.05: 異符号間で有意差あり

C(英大文字): コレステロール添加を表す

や血清コレステロール値の変動することが報告¹¹⁾されている。またゴマリグナン類のセサミンによる脂質過酸化抑制作用¹⁾、血清コレステロール低下作用は、ステロール調節エレメント結合タンパク質 (SREBP 1) 量を低下させることにより、肝臓の脂肪酸代謝変化を起こし、その結果として血清脂質低下作用を示すと報告¹²⁾されている。コレステロール添加食群の血清コレステロール値は、対照群に比べて発芽金ゴマ群および発芽ごまぞう群が有意 (p<0.05) に低値を示し、発芽金ゴマ群および発芽ごまぞう投与群は、コレステロール無添加食群のレベルまで低下した。コレステロール無添加食群の場合は、対照群と比較して群間に有意差はなかった。安本ら¹¹⁾の実験では、高リグナン種ごまごうを20%添加した食餌を投与したラットの血清トリグリセリド値が有意に低下したと報告している。本試験では、発芽ゴマおよび未発芽ゴマ投与は10%であったが血清トリグリセリド値は、コレステロール添加食群の発芽金ゴマ群と発芽ごまぞう群が対照群に比べて低下の傾向を示し、とくに発芽ごまぞう群で最も低値となったことから、これらの報告¹⁾、¹¹⁾、¹²⁾と同様の結果が得られた。生体内の脂質過酸化の指標でもあるTBARS値は、コレステロール添加食群が対照群に比べて発芽金ゴマ群と発芽ごまぞう群で低下の傾向を示し、コレステロール無添加の対照群より低い傾向であった。またコレステロール無添加食群のTBARS値は発芽金ゴマ群および発芽ごまぞう群がコレステロール添加の発芽金ゴマ群および発芽ごまぞう群よりも減少傾向を示し、発芽種子に含まれるリグナン類による脂質過酸化抑制作用が考えられる。今回供試した発芽ゴマは 低温 (25℃)・流水条件下

で24時間発芽させた発芽ゴマであり、セサミンやセサモリンの減少はほとんどなく⁹⁾、むしろ発芽4日目までは抗酸化性が增大するということがわかっている¹³⁾ことから、これらリグナン類の影響によるものと推察した。栗山ら¹⁴⁾もゴマ発芽によるリグナン配糖体の生成を確認しており、本試験での発芽ゴマも抗酸化活性の高い状態の種子を投与したことから、未発芽のゴマ種子投与に比べてリグナン類の効果が大きかったと考察した。

3. 肝臓の脂質成分への影響

肝臓は生体組織の中で、最も脂質代謝（脂肪酸の酸化および合成系）の活発な組織であり、肝臓での脂肪酸の合成が低下した場合、トリグリセリドの合成は抑制されることになる。肝臓の総脂質、コレステロール値およびTBARS値の測定結果を表3に示した。総脂質は、コレス

表3 発芽炒りゴマ投与ラットの肝臓総脂質、コレステロール値およびTBARS値

	コレステロール添加群					コレステロール無添加群				
	対照(Chol)	発芽金ゴマC	金ゴマC	発芽ごまぞうC	ごまぞうC	対照(CRL)	発芽金ゴマ	金ゴマ	発芽ごまぞう	ごまぞう
肝臓総脂質(%)	24.80±1.30 ^a	23.52±2.44 ^a	23.37±2.43 ^a	16.62±1.62 ^b	17.34±1.40 ^b	6.75±0.60 ^c	7.91±0.89 ^c	7.39±0.81 ^c	6.39±0.63 ^c	6.63±0.47 ^c
肝臓Chol値(g/100g)	10.65±0.17 ^a	8.66±1.14 ^b	10.06±1.08 ^a	9.35±0.29 ^c	8.27±0.17 ^b	0.76±0.05 ^d	0.84±0.09 ^d	0.64±0.09 ^d	0.65±0.05 ^d	0.79±0.10 ^d
肝臓TBARS値(nmol/g)	53.9±1.30 ^{a,b}	52.3±3.10 ^{a,b}	58.2±3.60 ^b	48.7±9.10 ^{a,c}	49.2±2.50 ^{a,c}	53.9±6.00 ^{a,b}	51.7±2.00 ^{a,c}	54.8±2.90 ^{a,b}	51.5±2.40 ^{a,c}	52.4±1.70 ^{a,c}

p<0.05:異符号間で有意差あり

(英大文字):コレステロール添加を表す

テロール添加食群では、発芽ごまぞう群が最も少なく、次いでごまぞう群(p<0.05)の順となり、高リグナン種のごまぞう群が対照群に比べて有意(p<0.05)に減少した。コレステロール無添加食の場合、対照群に比較して、発芽・未発芽にかかわらずいずれも群間に差は見られなかったが、発芽ごまぞう群がわずかながら、対照群のレベルまで低下することが確認できた。肝臓のコレステロール値は、コレステロール添加食群で対照群に比べて発芽金ゴマ群、発芽ごまぞう群およびごまぞう群の3群が有意(p<0.05)に低下し、コレステロール無添加の対照群よりも低下の傾向を示した。肝臓のTBARS値は、コレステロール添加食群および無添加食群のいずれも群間に有意差がなく、発芽金ゴマ群と発芽ごまぞう群が低下の傾向を示した。ゴマに含まれるゴマリグナン化合物のセサミンは、細胞内でミトコンドリアとペルオキシゾームの脂肪酸酸化活性を上昇させ、天然物の中では非常に強力な脂肪酸酸化誘導作用を有し、肝臓での脂肪酸代謝を大きく変える¹⁵⁾ことから、本実験結果の肝組織における脂質濃度の低下は、発芽ゴマに多く含有するセサミンが、脂肪酸代謝のβ-酸化誘導剤として関与したものと考えられる。また脂肪酸酸化系の活性がトリグリセリドの合成系に関係する脂肪酸の量を低下させ、トリグリセリドの合成を抑制して、さらにトリグリセリドを多く含むVLDLの分泌抑制をおこし、それが血清脂質濃度をも低下させたものと考えられる。

最近セサミン、セサモリンを多く含むゴマの品種改良も進み¹¹⁾、高リグナン種(ごまぞう)の品種登録もされた。発芽ごまぞうおよび発芽金ゴマを日常の食生活の中で高機能性食材として利用していくためには、食の安全性および自給率向上を考える上で極めて大切である。またゴマの場合は、栄養成分としては脂質含有量(約50~60%)が高く、大量に摂取できるものではないことから、調味料およびドレッシング以外の利用拡大も望まれる。

要 約

生後6週齢のWistar系雄ラット（日本エスエルシー（株），浜松市）を用い，カゼイン25%，コーンオイル9%，セルロース4%，ミネラル混合4%，ビタミン混合2%，コーンスターチ56%を基本食（対照群）とし，基本食にコレステロール1%を添加したコレステロール添加食群とコレステロール無添加食群に分け，試験食群にはブレンダーで粉碎した発芽ゴマ（発芽金ゴマおよび発芽ごまぞう）と未発芽ゴマ（金ゴマおよびごまぞう）をそれぞれ10%ずつ添加した試験食を3週間投与した．飼育終了後，ラットを解剖，採血し血清および肝組織の脂質成分（総脂質・コレステロール値・トリグリセリド値・TBARS値）について分析した．

- 1) 高コレステロール食を投与した場合，血清および肝臓のコレステロール値は上昇するが，発芽炒りゴマの添加群で，血清総コレステロール値の有意（ $p < 0.05$ ）な低下が認められた．
- 2) また血清トリグリセリド値，TBARS値は，コレステロール値のように顕著な低下はみられなかったが，発芽炒りゴマ投与群で，低下の傾向を示した．
- 3) 肝臓のTBARS値は，群間に有意な差はみられなかったが，総脂質はリグナン類を多く含有する発芽ごまぞう群が最も低値を示し，対照群に比べて有意（ $p < 0.05$ ）に低下した．肝臓のコレステロール値は，対照群に比べて発芽炒りゴマ群で有意（ $p < 0.05$ ）に低下した．

本研究を行うにあたり，試料をご提供していただきました「こだま株式会社」および「和田萬株式会社」に謝意を表します．

また，本研究は本学における特別研究助成（平成19年度）により行われたものであることを記し，謝意を表します．

文 献

- 1) Shimizu S., Akimoto K., Shipment Y., Kawashima H., Sugano M., Yamada H., *Lipids*, **26**, 512-516 (1991)
- 2) 井出 隆：食品成分による肝脂肪酸代謝と血清脂質濃度調節機能，日食工誌，**48**，(8)，555-563 (2001)
- 3) Kang M-H., Osawa T.: Inhibition of 2, 2'-azobis (2, 4-dimethyl valeronitorile) -induced lipid peroxidation by sesaminol, *Lipids*, **33**, (10), 1031-1036 (1998)
- 4) Kang M-H., Sakai K., Uchida K. and Osawa T.: Mode of action sesame lignans in protecting low-density lipoprotein against oxidative damage in vitro, *Life Sci*, **66**, (2), 161-171 (1999)
- 5) 片山健至：リグナン・ネオリグナンの生合成研究の最先端，*APAST*, **30**, 5-9 (1999)
- 6) 安井裕次，鈴木啓太郎，岡留博司，奥西智哉，橋本勝彦，大坪研一：発芽玄米・発芽大麦混合利用による粉末の製造とその高血圧抑制効果，日食工誌，**51**，(11)，592-603 (2004)
- 7) 渡邊 満，伊藤美雪：ソバ芽生えのフェノール性化合物量に及ぼす光の影響，日食工誌，**50**，(1)，32-34 (2003)
- 8) Simontacchi M., Sadovsky L. and Puntarulo S.: Profile of antioxidant content upon developing of Sorghum bicolor seeds, *Plant Sci.*, **164**, (5), 709-715 (2003)
- 9) 長島万弓，石山絹子，七野知子，福田靖子：発芽ゴマ食品の機能性と食味に及ぼす発芽の影響，日調科誌，**38**，(6)，455-461 (2005)
- 10) 内藤周幸，山中 健：動脈硬化性疾患と過酸化脂質，日本老年医学会誌，**15**, 187-191 (1978)
- 11) 安本知子，勝田眞澄，杉浦 誠，奥山善直，本田 裕，古明地通孝：高リグナン含有ごま新品種「ごまぞう」

- の育成, 作物研究所研究報告, **4**, 45-58 (2003)
- 12) Hirose N., Inoue T., Nishimura K., Sugano M., Akimoto K., Shimazu S., Yamada H., *J Lipid Res.*, **32**, 629-638 (1991)
- 13) 福田靖子, 大澤俊彦, 並木満夫: ゴマの発芽に伴う抗酸化性の増大について, 日食工誌, **32**, 407-412 (1985)
- 14) 栗山健一, 土屋欣也, 無類井建夫: ゴマ発芽に伴う新規リグナン配糖体の生成, 農化誌, **69**, 685-693 (1995)
- 15) 井出 隆: 食品分析による肝脂肪代謝と血清脂質濃度調節機能, 食科工誌, **48**, (8) 555-563 (2001)

Abstract

Male Wistar rats were given a basal diet containing 25% casein, 9% corn oil, 4% cellulose, 4% mineral mixture 2% vitamin mixture and 56% corn starch (control), or the basal diet plus 1% cholesterol. These groups were divided into rats given these diets plus 10% pre-germinated or non-germinated kingoma or gomazou. The lignan content was not lowered by germination in either variety. The serum cholesterol level was significantly lowered and the triglyceride level tended to be lowered by addition of pre-germinated kingoma or gomazou to the cholesterol diet. The TBARS level tended to be lower in the group fed the cholesterol diet plus pre-germinated kingoma or gomazou. The total lipid level in the liver was lowest in the rats fed the cholesterol diet plus pre-germinated gomazou. The cholesterol level in the liver was significantly lower in the rats fed the cholesterol diet plus pre-germinated kingoma, pre-germinated gomzaou and non-germinated gomazou.

Keyword High lignan sesame seeds, pre-germinated sesame seeds, lipid metabolism cholesterol, rat
キーワード 高リグナン種, 発芽ゴマ, 脂質代謝, コレステロール, ラット