

ゴマリグナン類の機能性

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	勝崎, 裕隆
発行元	養賢堂
巻/号	93巻5号
掲載ページ	p. 396-402
発行年月	2018年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ゴマリグナン類の機能性

勝崎裕隆*

〔キーワード〕: ゴマ, リグナン, 配糖体, 生物機能

1. ゴマについて

日本固有の植物と考えられ, 食材として用いられるゴマであるが, ゴマの起源はアフリカのサバンナとされている. 植物としては 1 年生の草本であり, 学名でいう, *Sesamum indicum* が現在の栽培種で, その中でさらに, いろいろな品種がある. 昔は日本でも多く栽培されていたが, 今, 食されているゴマのほとんどは輸入品となっている. しかし, また国産ゴマの需要も高まってきている.

ゴマの一般成分としては, 半分が油である. 約 2 割がタンパク質で, 1.5 割が糖質である. その他の特徴としてはカルシウムを多く含んでいる. しかし, カルシウムは効率良く吸収できないとされている. ビタミンで E に関しては, 通常の食品は α -トコフェロールを多く含むところ, ゴマは γ -トコフェロールを多く含むという特徴を持っている. 金属としてセレンを含むという特徴もある¹⁾.

ゴマは利用面としては, 種子としてあるいは油として利用される. 商業的には, 種子は色によって, 白ゴマ, 黒ゴマ, 金ゴマがあり, 金ゴマは価値が高いとも言われている. それぞれの種子の利用法は, 洗いゴマ, むきゴマ, すりごゴマとして, さらに, ペーストなどもある. 油も透明なサラダ油や, 茶褐色の焙煎油等がある.

ゴマは, 先に述べたように原産地がアフリカとされているため, シルクロードなどを通して伝わり, 世界中で食されている. 日本以外の国では, 種子のままや油だけといった使用法が多いが, 日本では, 数多くの独特な食し方がなされている. 歴史的に見て, 日本では, ゴマははじめ油として利用されていた. その後, 独特の味と香りから, 日本の中で独自に進化を遂げた. 精進料理や, 懐石料理にゴマはなくてはならないものである. 今日では, ゴマ塩, ゴマみそ, ゴマ豆腐, ゴマ油を使った天ぷらやゴマ風味のラーメンなど, いろいろな形で使われている.

中国ではラー油として使用されるが, 日本ではさらに進化しており市販のゴマドレッシングとして使用されている.

2. ゴマの機能性研究のはじまり

ゴマは, 中国の書物で神農本草経には上品として体によいという記述がある. 上品とは, 無毒で長期服用しても良い養命薬である. このように, 文献としての報告があるものの, 実際このことが, 科学的に証明され始めたのは, この 30 年くらいの間である. しかし, 科学的証明も, 食品としてのゴマ油の安定性から始まっている.

ゴマ油といえば, 一般的には品質が悪化しにくいといわれるが, これは, 酸化されにくいということである. 正確には, 脂肪酸が酸化を受けるとヒドロペルオキシドが生成する. 続いて, これらは, さらに反応が進み, 分解反応によって生じる, アルデヒドやケトンとアルコールといった官能基をもつ低分子化合物へと変化していく. この過程で, 人間が不快を感じる揮発性分なども生成している. 一般の油は, この反応が速やかに起こるが, ゴマ油に関してはこの反応が起きにくい. ゴマ油が酸化されにくい理由として, セサモール (図 1) と γ -トコフェロールと呼ばれる単純なフェノール化合物によるものと説明され, かなりの間, 信じられていた. しかし, 実際はその成分だけでは, 酸化抑制を説明できないことがわかった. 1980 年代福田等の研究により, これらの化合物以外にリグナンに属する一連の化合物が抗酸化性に寄与することが新たにわかってきた²⁻⁴⁾ (図 1). また, 少し遅れて, 山田等により, 今ではゴマリグナンの代表格であるセサミン (図 2) の微生物の脂肪酸代謝に関する機能性が報告され⁵⁾, セサミンに関する研究も精力的に行われるようになった. しかし, この時点では, 生体での機能ではなかった. しばらくしてから, 生体への機能に関する研究が行われるようになった.

*三重大学大学院生物資源学研究科 (Hirotaka Katsuzaki)

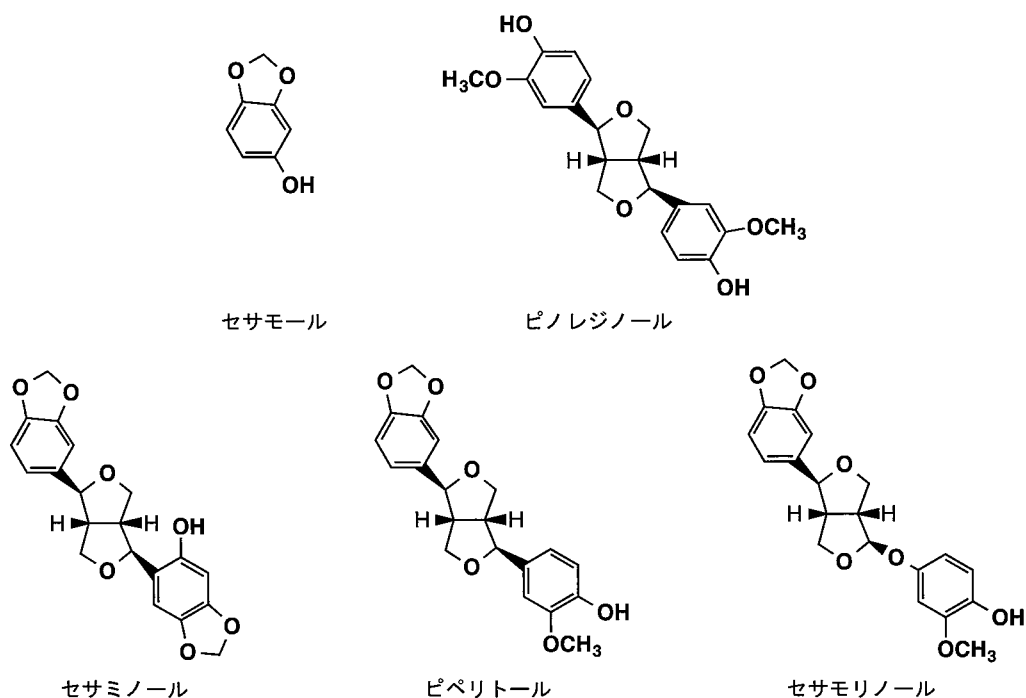


図1 ゴマ中の抗酸化物質

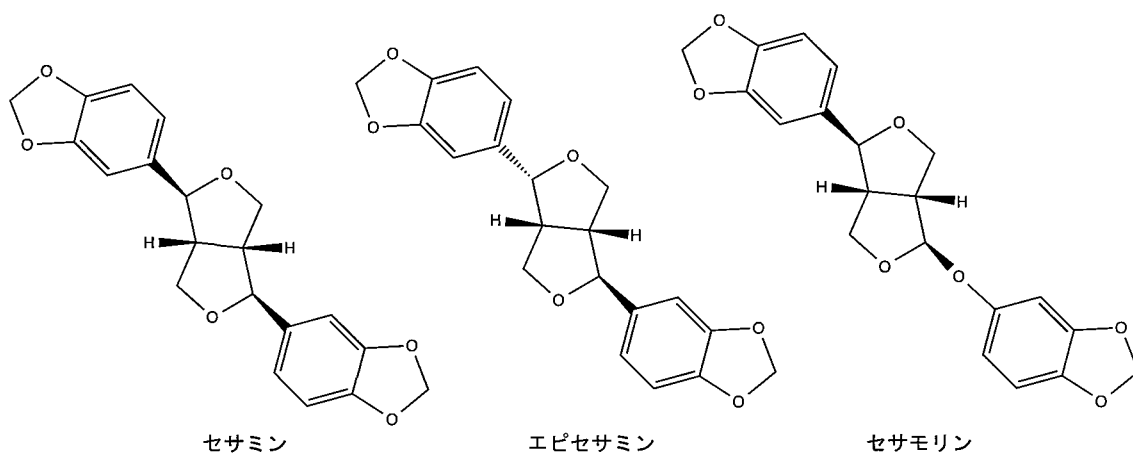


図2 セサミンとセサモリン

3. ゴマリグナンとは

リグナンとは C_6-C_3 のフェニルプロパン類の一種で、*p*-ヒドロキシフェニルプロパン単位の酸化的カップリングにより生成した低分子化合物群である。ポリフェノールと呼ばれる化合物群の一種でもある。リグナンは、アミノ酸であるチロシンやフェ

ニルアラニンなどの生合成中間体であるシキミ酸から植物体内で生合成される。

ゴマにはセサミンとセサモリンというリグナンが多く含まれている⁶⁾。また、生合成的にはセサミンやセサモリンの前駆体となる、ピノレジノールもゴマに微量に含まれている。このピノレジノールが一つだけメチレンジオキシ化されたものがピペリ

トール⁷⁾ (同名のものがモノテルペンにある)で、二つともメチレンジオキシ化されたものがセサミンである。セサモリンはその構造から考えて、セサミンから生合成されると推測されるが、まだ、正確にはわかっていない⁸⁾。

ゴマリグナンの特徴は構造から見てもわかるように、とんがり頭のようなメチレンジオキシ部分であり、典型的なリグニンに見られるフロフラン環を構造の中心にもっている。セサミンやセサモリンは配糖化されないが、他のゴマリグナンは配糖化されたものが見つかっている⁹⁾。ゴマリグナンとその配糖化されたリグナンを、ゴマリグナン類と呼ぶ。

4. セサミンの生物機能

セサミンは、品種や産地にもよるが、ゴマ種子中に1から5%ほど含まれている。そのため、ゴマから大量に得ることができる。また、このセサミンの精製法が確立されているため、機能性に関する研究が飛躍的に進んだ。

セサミンはゴマ種子中では、セサミンといわれるものだけであるが、実際はこのセサミンには立体構造の異なるエピセサミンという異性体もある。ゴマ油の精製行程で、セサミンは立体構造の変化、異性化がおきて、エピセサミンを生成する。したがって、ゴマ油中ではセサミンとエピセサミンの両方が含まれている。サプリメントとして使用されているものもこの二つが混在している場合がある。セサミンの効果といってもこの二つを区別していない場合がある。

セサミンも先に記述した通り、初めは微生物での脂質代謝効果への影響がきっかけであるが、その後、生体を意識した、健康機能の研究が行われるようになってきた。現在でも、ヒトそのものを対象として研究は少ないが、かなりの成果があがってきており、今後、きちんとした科学的裏付けができるようになれば、いろいろな効果が期待できる。その効果の一部を紹介する。

4-1 多価不飽和脂肪酸バランスへの効果

セサミン/エピセサミン混合物の効果として初期に見つかったものとして、脂肪酸の不飽和化酵素阻害活性がある⁵⁾。これは、微生物の代謝系で見つかり、アラキドン酸の生産につながるとしてなされた

ものである。その後、このアラキドン酸合成などに関して、細胞実験や動物実験¹⁰⁾が行われた。その結果、動物実験でも不飽和化の阻害が確認され、多価不飽和脂肪酸の生体内バランスを整えるのに影響を与えているようである¹¹⁾。

4-2 脂肪酸の合成と分解への効果

セサミン/エピセサミン混合物の脂質代謝の効果として、井手、菅野等による、ラット肝臓での脂肪酸の β 酸化(分解)の促進と合成の抑制の報告が挙げられる¹²⁾。セサミンは脂肪酸酸化系酵素の活性と遺伝子発現を大きく上昇させる。また、セサミンはラットの肝臓で脂肪酸の合成を抑制しているという報告がある¹³⁾。これらにより、血清脂質の濃度の低下作用を起していると考えられる。しかし、他の動物実験ではそのような傾向がないという報告もあり¹⁴⁾、実験動物により結果が異なるようである。また、アラキドン酸の体内動態に関しては、五十嵐らの報告もある¹¹⁾。

4-3 コレステロール低下作用

セサミン/エピセサミン混合物による、血清や肝臓中のコレステロール濃度への影響を種々の実験動物を用いて検討されてきた¹⁵⁾。しかし、脂肪酸の濃度の時と同様に、多くの研究で、濃度が減少する結果もあるが、動物種によっては変化が見られない結果もある。また、ヒトに対する影響を検討した研究もある。その研究では、高コレステロール血漿の患者に対してコレステロール濃度を低下させたと報告している¹⁶⁾。最近、ハムスターで効果を見たものもある¹⁷⁾。

4-4 アルコール代謝改善効果

アルコール(エタノール)は酸化を受けて代謝される。酸化でまずアセトアルデヒドができ、続いて、さらに酸化され、酢酸へと変化していく。二日酔いの元がアセトアルデヒドであり、速やかに酢酸へと変化されれば、二日酔いにならずにすむことになる。このエタノールの酢酸への代謝を早める効果が、セサミン/エピセサミン混合物にはあると報告されている。このことはラットの実験で証明され¹⁸⁾、ヒトでは、顔の温度の変化に着目したところ、温度上昇には影響がなかったが、飲酒30分後からの温度低

下に効果があると報告されている¹⁹⁾。

4-5 抗高血圧

ラットでの実験では、モデル条件で 0.1 から 1% のセサミン/エピセサミン添加で降圧効果が報告されている²⁰⁾。ヒト実験では、軽度の高血圧患者に対して、1 日 60mg のセサミン/エピセサミン混合物の 4 週間投与で収縮期、拡張期で血圧値を有意に低下させている²¹⁾。

4-6 ビタミン増強調節作用

1992 年にラットの実験において、ゴマ抽出物がトコフェロール（ビタミン E）の濃度を上昇させることが山下等によって報告された。この後、この効果がセサミン/エピセサミン混合物によることが見いだされた²²⁾。このビタミン E の濃度の上昇はヒト実験においてもゴマ食やゴマ油食でも確認されており、効果はラットでだけでなくヒトでもあると考えられている。

ビタミン E 以外のビタミンでは、ビタミン K²³⁾ やビタミン C²⁴⁾ の濃度もセサミンとエピセサミンの混合物により上昇することが、池田等のラットによる動物実験によって報告されている。

4-7 脳への影響

マウスを使った実験であるが、電気刺激による脳内ストレスを軽減したとの報告がある²⁵⁻²⁷⁾。

4-8 動脈硬化、抗酸化効果

セサミンがラットで、酸化ストレスを軽減したという報告がある。また、セサミンと一緒にビタミン E を取った場合の疲労と酸化ストレスへの効果をヒトで見た報告がある²⁸⁾。さらに、動脈硬化患者への効果を見たものもあるが、結果は慎重に取り扱わないといけないとしている²⁹⁾。

4-9 糖尿病予防効果

ラットでの実験ではあるが、セサミン投与で糖尿病を予防するような報告がある²⁶⁾。セサミン投与がマウスでの実験で糖尿病性網膜症を抑えたという報告もある³⁰⁾。さらに、糖尿尿患者への効果を見た報告もあるが、やはり、結果は慎重に考える必要があるとしている。³¹⁾

5. ゴマ食や他のゴマリグナンの機能

ゴマ食に関する研究では、骨関節炎の改善効果、脂質の改善、酸化ストレス改善、IL6 の低下などの報告がある^{32,33)}。しかし、これらの報告は一部数値を見たのみのデータであり、病気治療となると、慎重な取り扱いが必要であると思う。さらに、ゴマ食では、老化促進マウスによる動物実験がある。毛並みなどを指標に、老化度を点数化していくのであるが、この老化促進マウスにゴマを食べさせたところ、老化度の点数が低く、老化を遅らせたという報告がある。また、ゴマリグナンの一種である、セサミノールでも同様の老化を抑制することが示唆された³⁴⁾。

また、並木らによれば、セサミノールはほかにも「血液さらさら」効果があるという報告もある。ヒト毛細管モデルでの血流の流れが向上している³⁵⁾。

さらに大澤らによれば、ゴマリグナンやそれらの代謝産物に、細胞モデル系で、神経細胞の変性をおさえたことから³⁶⁾、パーキンソン病のような神経変性疾患を予防する可能性が出てきた。また最近、セサミノールのアルツハイマー病への効果がマウスで見られたとする報告もある³⁷⁾。今後のヒトでのこのような効果が出るのが期待される。

セサミノール配糖体が、大腸がん予防に効果があるというラットでの研究の報告がある。発がん物質を投与する短期モデルで、癌マーカーの発生率が有意に減少している。がん予防物質の一つであることが示唆された³⁸⁾。

6. ゴマリグナン類の抗酸化機能

ゴマ油が酸化されにくいことから、ゴマ油はこの酸化を防ぐ物質を含有すると考えられ、ゴマ油や種子から抗酸化性を有するゴマリグナンが単離されてきた。

一方、生体内にはやはり油（脂質）が存在している。細胞膜は脂質からできている。この脂質が酸化を受けると、過酸化脂質が生成する。さらにこの過酸化脂質が分解されるとアルデヒド類が生じ、タンパク質や核酸といった生体成分と反応する可能性がある。このようにできた、修飾されたタンパク質や修飾された核酸は、ガンなど様々な疾患のもとになったり、老化を引き起こしたりする。

ゴマ油や種子から得られたゴマリグナンが食事

によって体の中に入れば、生体内の脂質過酸化を防げるのではないかと考えられ、ゴマリグナンの生体内抗酸化機能の研究が行われるようになってきた。

食品では、油の酸化を抑える抗酸化機能は品質劣化等防止につながる。生体では、脂質の過酸化を防ぐ抗酸化機能は、老化や様々な疾病を予防できると考えられる。

また、ゴマリグナンはゴマ種子中では配糖体として存在しているものが多い、特にセサミノール配糖体はゴマ種子中でセサミンやセサモリンに匹敵するぐらい多く存在している。この配糖体といったゴマリグナン類は食品中では抗酸化能をもたないが、体内では抗酸化能をもつことができる³⁹⁾。

生体内抗酸化機能の面では、ゴマをラットに食べさせたときに、実際に生体内で生成する、過酸化脂質の代謝物の生成を抑えるというデータが報告されている³⁴⁾。セサミンに関してはヒトでも抗酸化効果もつという報告もある³⁹⁾。

6-1 ゴマリグナンの抗酸化機能

ゴマから単離されたリグナンは、ピペリトール、セサミノール、セサミノール、ピノレジノールである。また、このうち、セサミノールは食用油の製造工程で、セサモリンから生成することも判明した⁴⁰⁾。抗酸化物質としての発見は試験管内での反応で見つかってきた。これらのうち、セサミノールに関しては、ラットの動物実験でも抗酸化機能が証明されている⁴¹⁾。

また、セサミンやセサモリンは試験管内では抗酸化性を示さないが、生体内で抗酸化性を示すという報告が有る⁴²⁾。これは、セサミンは、ジカテコールタイプへ変換され、抗酸化性を示すと考えられている。さらに、ヒトでも抗酸化機能に関しては確かめ

られている⁴³⁾。一方セサミノールも生体内で変換され、構造内にカテコール体を生成し、抗酸化能が増強されている報告もある³⁹⁾。

6-2 ゴマリグナン配糖体の抗酸化機能

1980年代後半以降、ゴマ脱脂粕をラットに食べさせたところ、抗酸化性を示すという結果が得られた⁴¹⁾。脱脂粕中には脂溶性であるゴマリグナンは含まれておらず、脂溶性のゴマリグナン以外に活性を示す成分があると考えられた。そこで筆者等が、試験管内で抗酸化性を有し、単離構造決定したのがピノレジノールの配糖体であった⁴⁴⁾。しかし、これら配糖体だけでは、ゴマ粕の抗酸化性を説明できなかった。そこで、ゴマ粕抽出物をβ-グルコシダーゼで処理すると、ピノレジノールやピペリトール、セサミノール、セサミノールが生成した。また、セサミノールにブドウ糖が1つ結合したセサミノールモノグルコシドとブドウ糖が2つ結合したセサミノールジグルコシドも単離され、その構造が決定された⁴⁵⁾。ここで、β-グルコシダーゼ処理物にセサミノール配糖体が見つかったことから、2つより多いブドウ糖の結合した配糖体が存在すると推測できた。探索の結果、1993年頃、ゴマ粕からセサミノールトリグルコシドが見つけたされた⁴⁵⁾。このセサミノールトリグルコシドはゴマに含まれるセサミン、セサモリンに並ぶ主要成分の一つであることも判明した。また、このセサミノール配糖体の発見は、生体内で腸内細菌のβ-グルコシダーゼの作用により、代謝を受け、抗酸化性を示す可能性を示唆するものであり、抗酸化物質の前駆体の発見でもあった(図3)。これ以降、このようなゴマリグナン配糖体が見出されていった。今後、リグナン配糖体のヒトでの研究に期待するところである。

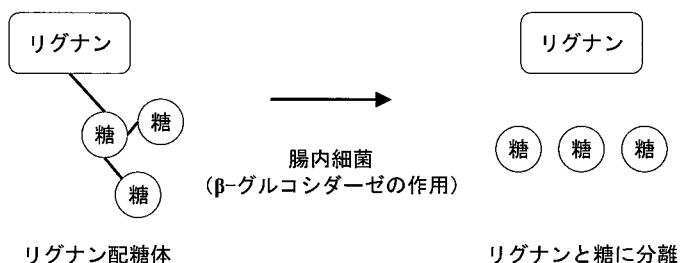


図3 リグナン配糖体の抗酸化機能発現機構

7. 最後に

ゴマは体に良いといわれているが、これは、あくまでもヒトが生きていく中で感じてきたことであり、科学的に証明され始めてきたのは、ここ 30 年くらいのことである。この健康機能を持つものとして、ゴマリグナンと呼ばれる成分が寄与していることが分かってきた。これらの機能は、ゴマリグナンの配糖体を含めたゴマリグナン類による効果である。また、これらのリグナン類は、体内で代謝されて、効果が出るものもある。ゴマ種子ではその効果は眠ったままで、体内で初めて効き始める神秘的な食品である。それが、美味しさともになぜか体がよくなるということで定着してきたのである。科学的にはまだまだ未解明な部分があり、その効果が判ってきたリグナンもセサミンに代表される一部であり、今後の研究に期待されることである。

また、ゴマに関することがまとめて書かれた書籍が現在まで発行されている。日本で時代とともに、進歩してきた内容が書かれている。この本はゴマを知る上でバイブルである⁴⁶⁻⁴⁸⁾。

また、食という意味から、ヒトは、基本体が覚えているということがあるようである。疲れたときなど、食べたくなるものが有る。そのとき、そのものを気が済むまで食べればよいと考える。それ以外の時は、ゴマが良いからゴマをというのではいうのではなく、いろいろな食品をバランスよく適量食べることが重要である。

参考文献

- 1) 文部科学省科学技術・学術政策局政策課資源室, “日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂)” (2016).
- 2) Fukuda Y, Osawa T, Namiki M, and Ozaki T, *Agric. Biol. Chem.*, 49, 301-306 (1985).
- 3) Osawa T, Nagata M, Namiki M, and Fukuda Y, *Agric. Biol. Chem.*, 49, 3351-3352 (1985).
- 4) Fukuda Y, Nagata M, Osawa T, and Namiki M, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 63, 1027-1031 (1986).
- 5) Shimizu S, Akimoto K, Shinmen Y, Kawashima H, Sugano M, and Yamada H, *Lipids*, 26, 512-516 (1991).
- 6) Budowski P, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 41, 280-285 (1964).
- 7) Fukuda Y, Nagata M, Osawa T, and Namiki M, *Agric. Biol. Chem.*, 50, 857-862 (1986).
- 8) Ono E, Nakai M, Fukui Y, Tomimori N, Fukuchi-Mizutani M, Saito M, Satake H, Tanaka T, Katsuta M, Umezawa T, and Tanaka Y, *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103, 10116-21 (2006).
- 9) Katsuzaki H, Imai K, Komiya T, and Osawa T, *ITE Letters*, 4, 794-797 (2003).
- 10) Fujiyama-Fujiwara Y, Umeda R, and Igarashi O, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 38, 353-363 (1992).
- 11) Umeda-Sawada R, Takahashi N, and Igarashi O, *Biosci Biotechnol Biochem*, 59, 2268-73 (1995).
- 12) Ashakumary L, Rouyer I, Takahashi Y, Ide T, Fukuda N, Aoyama T, Hashimoto T, Mizugaki M, and Sugano M, *Metabolism*, 48, 1303-13 (1999).
- 13) Ide T, Ashakumary L, Takahashi Y, Kushiro M, Fukuda N, and Sugano M, *Biochim Biophys Acta*, 1534, 1-13 (2001).
- 14) Kushiro M, Takahashi Y, and Ide T, *Br J Nutr*, 91, 377-86 (2004).
- 15) Hirose N, Inoue T, Nishihara K, Sugano M, Akimoto K, Shimizu S, and Yamada H, *J Lipid Res*, 32, 629-38 (1991).
- 16) Hirata F, Fujita K, Ishikura Y, Hosoda K, Ishikawa T, and Nakamura H, *Atherosclerosis*, 122, 135-36 (1996).
- 17) Liang YT, Chen J, Jiao R, Peng C, Zuo Y, Lei L, Liu Y, Wang X, Ma KY, Huang Y, and Chen ZY, *J Agric Food Chem*, 63, 2963-9 (2015).
- 18) Akimoto K, Kitagawa Y, Akamatsu T, Hirose N, Sugano M, Shimizu S, and Yamada H, *Ann Nutr Metab*, 37, 218-24 (1993).
- 19) 秋元健吾, 清水昌, *日本醸造協会誌*, 89, 787-792 (1994).
- 20) Matsumura Y, Kita S, Morimoto S, Akimoto K, Furuya M, Oka N, and Tanaka T, *Biol. Pharm. Bull.*, 18, 1016-1019 (1995).
- 21) Miyawaki T, Aono H, Toyoda-Ono Y, Maeda H, Kiso Y, and Moriyama K, *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 55, 87-91 (2009).
- 22) Yamashita K, Nohara Y, Katayama K, and Namiki M, *J. Nutr.*, 122, 2440-2446 (1992).
- 23) Hanzawa F, Nomura S, Sakuma E, Uchida T, and Ikeda S, *J Nutr*, 143, 1067-73 (2013).
- 24) Ikeda S, Abe C, Uchida T, Ichikawa T, Horio F, and Yamashita K, *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 53, 383-92 (2007).
- 25) Zhao TT, Shin KS, Kim KS, Park HJ, Kim HJ, Lee KE, and Lee MK, *Neuroscience*, 339, 644-654 (2016).
- 26) Thuy TD, Phan NN, Wang CY, Yu HG, Wang SY, Huang PL, Do YY, and Lin YC, *Mol Med Rep*, 15, 2949-2956 (2017).
- 27) Zhao TT, Shin KS, Park HJ, Yi BR, Lee KE, and Lee MK, *Neurochem Res*, 42, 1123-1129 (2017).
- 28) Takemoto D, Yasutake Y, Tomimori N, Ono Y, Shibata H, and Hayashi J, *Glob J Health Sci*, 7, 1-10 (2015).
- 29) Helli B, Mowla K, Mohammadshahi M, and Jalali MT, *J Am Coll Nutr*, 35, 300-7 (2016).
- 30) Ahmad S, ElSherbiny NM, Jamal MS, Alzahrani FA, Haque R, Khan R, Zaidi SK, AlQahtani MH, Liou GI, and Bhatia K, *J Neuroimmunol*, 295-296, 47-53 (2016).
- 31) Mohammad Shahi M, Zakerzadeh M, Zakerkish M, Zarei M, and Saki A, *J Diet Suppl*, 1-12 (2016).
- 32) Khadem Haghighian M, Alipoor B, Eftekhari Sadat B, Malek Mahdavi A, Moghaddam A, and Vatankhah AM, *Health Promot Perspect*, 4, 90-7 (2014).
- 33) Khadem Haghighian M, Alipoor B, Malek Mahdavi A, Eftekhari Sadat B, Asghari Jafarabadi M, and Moghaddam A, *Acta Med Iran*, 53, 207-13 (2015).
- 34) 山下かなへ, 川越由紀, 野原優子, 並木満夫, 大澤俊彦, 川岸舜朗, *栄食誌*, 43, 445-449 (1990).

- 35) 並木和子, 日本ヘモロジー学会誌, 9, 23-30 (2006).
- 36) 大澤俊彦, *Functinal Food*, 7, 90-96 (2013).
- 37) Katayama S, Sugiyama H, Kushimoto S, Uchiyama Y, Hirano M, and Nakamura S, *J Agric Food Chem*, 64, 4908-13 (2016) .
- 38) Sheng H, Hirose Y, Hata K, Zheng Q, Kuno T, Asano N, Yamada Y, Hara A, Osawa T, and Mori H, *Cancer Lett*, 246, 63-8 (2007).
- 39) Mochizuki M, Tsuchie Y, Nakamura Y, and Osawa T, *J Agric Food Chem*, 57, 10429-34 (2009).
- 40) Fukuda Y, Isobe M, Nagata M, Osawa T, and Namiki M, *Heterocycles*, 24, 923-926 (1986).
- 41) 大澤俊彦, 食の科学, 218, 26-32 (1996).
- 42) Nakai M, Harada M, Nakahara K, Akimoto K, Shibata H, Miki W, and Kiso Y, *J Agric Food Chem*, 51, 1666-70 (2003).
- 43) Tada M, Ono Y, Nakai M, Harada M, Shibata H, Kiso Y, and Ogata T, *Anal Sci*, 29, 89-94 (2013).
- 44) Katsuzaki H, Kawasumi M, Kawakishi S, and Osawa T, *Biosci. Biotech. Biochem.*, 56, 2087-2088 (1992).
- 45) Katsuzaki H, Kawakishi S, and Osawa T, *Phytochem.*, 35, 773-776 (1994).
- 46) 並木満夫, 小林貞作編, “ゴマの科学”, 朝倉書店 (1989).
- 47) 並木満夫編, “ゴマ: その科学と機能性”, 丸善プラネット (1998).
- 48) 並木満夫, 福田靖子, 田代 亨 編, “ゴマの機能と科学”, 朝倉書店 (2015).