

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32415

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450177

研究課題名(和文) 機能性抗酸化因子と多価不飽和脂肪酸との相互作用による脂質代謝制御

研究課題名(英文) Interrelated effects of functional anti-oxidative compound and polyunsaturated fatty acids affecting lipid metabolism

研究代表者

井手 隆 (Ide, Takashi)

十文字学園女子大学・人間生活学部・教授

研究者番号：20127971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：強い抗酸化作用を示すとともに脂質低下作用を持つ機能成分 α -リポ酸と多価不飽和脂肪酸を組み合わせることで摂取させた場合の脂質代謝の変化と酸化ストレス関連パラメーターに与える影響をラットを用いた動物実験で調べた。

EPAとDHAに富む魚油と α -リポ酸を組み合わせることで摂取させた場合、単独で摂取させた場合と比較して、相加的な脂肪酸合成の低下を伴い血清と肝臓の脂質レベルを大きく低下させた。しかし、 γ -リノレン酸に富むエゴマ油と α -リポ酸の組み合わせでは、併用による脂質低下の増強は不明確であった。両実験において α -リポ酸は魚油およびエゴマ油摂取による酸化ストレスの増加を有効に抑制した。

研究成果の概要(英文)： α -Lipoic acid is a strong anti-oxidative compound. In addition, it decreases serum and tissue lipid levels through the down-regulation of hepatic lipogenesis. Dietary fat rich in polyunsaturated fatty acids exert potent lipid-lowering effect but it generate oxidative stress in organisms. In the present studies, we investigated interrelated effects of dietary fats rich in polyunsaturated and α -lipoic acid affecting parameters of lipid metabolism and oxidative stress in rats. Combination of fish oil rich in EPA and DHA, and α -lipoic acid strongly reduced serum lipid concentrations more than did the respective component. This was accompanied by the additive strong decrease in hepatic lipogenesis. However, combination of perilla oil rich in γ -linolenic acid and α -lipoic acid was not effective to observe strong additive decreases in serum lipid levels. In both experiments, α -lipoic acid effectively attenuated polyunsaturated fatty acid-induced oxidative stress.

研究分野：食品機能

キーワード： α -リポ酸 多価不飽和脂肪酸 脂質代謝 酸化ストレス 脂肪酸合成 脂肪酸酸化

1. 研究開始当初の背景

多価不飽和脂肪酸が優れた生理機能を有することは周知の事実である。数多くの研究者により、多価不飽和脂肪酸の代謝調節機能が明らかにされている。申請者も今までに、ラット、マウスを用いた実験で多価不飽和脂肪酸の機能について脂質代謝の面から解析し、数多くの知見を得ている。すなわち、イコサペンタエン酸 (EPA) やドコサヘキサエン酸 (DHA) に富む魚油は肝臓の β 酸化活性を上昇させ、逆に脂肪酸合成活性を抑制するが、その作用が他の多価不飽和脂肪酸 (リノール酸や α -リノレン酸) に富む油脂よりはるかに大きいことを示し、また脂肪酸合成系と β 酸化系の各種酵素の活性と遺伝子発現に与える特徴の詳細を明らかにした。さらに、魚油は熱産生の場合である褐色脂肪組織で熱産生に關与する脱共役タンパク質 1 と血清リポタンパク質から組織への脂肪酸取り込みに關与するリポタンパク質リパーゼの遺伝子発現を増加させることを示した。これら変化は体脂肪の燃焼を促し、生成したエネルギーを熱として発散させると思われる。従って、これは魚油の抗肥満作用の原因と思われる。魚油は白色脂肪組織でグルコース輸送担体 4 発現も増加させ、これが魚油の耐糖能増強や血糖低下作用に關与すると思われる。また、EPA や DHA 同様 n-3 系脂肪酸である α -リノレン酸に富むエゴマ油やアマニ油が肝臓の β 酸化系酵素の活性と遺伝子発現を増加させることを初めて示した。これは α -リノレン酸の血清脂質濃度低下や肥満抑制効果に關与すると思われる。さらに、エゴマ油は魚油同様褐色脂肪組織の脱共役タンパク質 1 とリポタンパク質リパーゼの遺伝子発現を増加させる。また、n-6 系多価不飽和脂肪酸の γ -リノレン酸に富むボラージ油の血清脂質低下作用と体脂肪蓄積低減作用に肝臓 β 酸化系酵素の活性と遺伝子発現の増加に加え、褐色脂肪組織の脱共役タンパク質 1 の発現増加が關与する可能性を示した。さらに、ジホモ- γ -リノレン酸あるいはアラキドン酸に富む糸状菌油脂はラット肝臓の脂肪酸合成系酵素の活性と遺伝子発現を強く抑制することを見いだした。

2. 研究の目的

このように、多価不飽和脂肪酸の種類ごとに生理機能特性は異なるが、健康に寄与する多彩な脂質代謝調節機能を有することは明白である。しかし、多価不飽和脂肪酸は極めて酸化されやすく、添加された食品の変質、変敗を惹起するのみならずその摂取は、酸化ストレスによる種々の弊害 (がん、動脈硬化等) を引き起こす可能性がある。このため、多価不飽和脂肪酸の機能性食品素材としての利用は酸化を受けにくいカプセルなどの形態である場合が多い。食品に含まれる抗酸化物質を多価不飽和脂肪酸と同時に摂取することがこの問題を解決する有効な手段で

ある。天然の抗酸化成分は種々のものがあるが、これら抗酸化成分の中には、脂質代謝を変化させ脂質代謝改善作用を示すものが報告されている。このような成分と多価不飽和脂肪酸の組み合わせ摂取は多価不飽和脂肪酸による酸化ストレスを軽減するとともに、極めて優れた脂質代謝改善効果を発揮することが期待される。そこで、本研究では抗酸化活性と示すとともに生体の脂質代謝を改善する作用がある成分として、 α -リポ酸を取り上げ、多価不飽和脂肪酸とともに摂取させた場合の脂質代謝および酸化ストレスマーカーに与える影響を精査した。本研究の成果は機能性が增強されまた安全性の高い機能性食品の創成に大きな指針を与えると期待される。

3. 研究の方法

(1) 魚油と α -リポ酸が脂質代謝と酸化ストレスマーカーに与える影響：魚油に含まれる EPA と DHA は肝臓の脂肪酸合成を強く抑制するとともに脂肪酸酸化活性を増加させ、脂質濃度低下作用を示す。また、強い抗酸化活性を示す α -リポ酸は肝臓脂肪酸合成を抑制する作用を持ち、同様に脂質低下作用を發揮する。本実験では両者の組み合わせ効果について検討した。ラットを 6 群に分け 0、2 あるいは 10% の魚油を含む α -リポ酸無添加あるいは添加 (0.25%) 食を 3 週間与えた。

(2) エゴマ油と α -リポ酸が脂質代謝と酸化ストレスマーカーに与える影響：エゴマ油に多く含まれる n-3 脂肪酸である α -リノレン酸は肝臓の脂肪酸酸化活性を増加させ脂質低下作用を發揮することが知られている。本実験では α -リポ酸とエゴマ油の組み合わせ効果について調べた。ラットを 6 群に分け 15% のパーム油、コーン油、あるいはエゴマ油を含む R- α -リポ酸無添加あるいは添加 (0.2%) 食を 3 週間与えた。

両実験とも脂質代謝パラメーターとして、血清と肝臓の脂質レベル、肝臓脂肪酸合成系および酸化系酵素の活性と mRNA 量を測定した。また、酸化ストレスに關係する指標として、肝臓と血清のマロンジアルデヒド濃度、血清の 8-ヒドロキシ-2'-デオキシグアノシン (8-OHdG) 濃度、肝臓のグルタチオン濃度、肝臓のグルタチオン代謝系酵素の活性と mRNA 量さらに種々酸化ストレス防御機能を持つタンパク質 (メタロチオネイン、APEXヌクレアーゼ 1、スルフィレドキシシン 1、チオレドキシシンレダクターゼ 1 など) の mRNA 量について調べた。

4. 研究成果

(1) 魚油と α -リポ酸が脂質代謝と酸化ストレスマーカーに与える影響：図 1 に魚油と α -リポ酸が血清中の脂質、グルコースおよび酸化ストレスマーカーであるマロンジアルデヒドと 8-ヒドロキシデオキシグアノシン濃度に与える影響を示した。データは 2 元配

置分散分析により解析し、その結果を図の中に示している。魚油と α -リポ酸に交互作用が見られた場合は1元配置分散分析で再解析を行い、全群間の有意差をチューキー法で調べた。この場合有意差はアルファベットで表示した。同じアルファベット文字を共有しない値の間には $p < 0.05$ で有意差があることを示している。魚油と α -リポ酸は血清トリアシルグリセロール、コレステロール、リン脂質、遊離脂肪酸濃度を低下させた。特にトリアシルグリセロールは2つを組み合わせると著しく低下した。また、魚油と α -リポ酸によりグルコース濃度の低下が観察された。マロンジアルデヒドの濃度は魚油の添加量が上昇するとともに増加したが、 α -リポ酸同時添加により値が大きく低下した。また、8-ヒドロキシデオキシグアノシン濃度も α -リポ酸により大きく低下した。

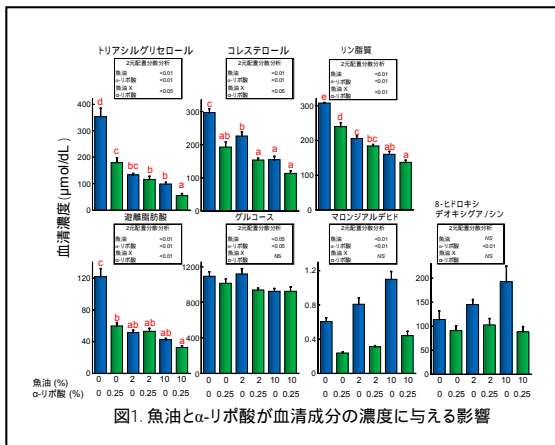


図1. 魚油と α -リポ酸が血清成分の濃度を与える影響

脂質代謝に大きな影響を与えると思われるインスリン、レプチンおよびアディポネクチンの血清濃度に与える魚油と α -リポ酸の影響について調べた。魚油と α -リポ酸両者には血清インスリン濃度を低下させる効果が認められるようであり、両者を組み合わせた飼料群で低値を示した。レプチン濃度は α -リポ酸により低下した。また、魚油と α -リポ酸両者にアディポネクチンの濃度上昇作用が観察された(データ省略)。

魚油と α -リポ酸両者に肝臓トリアシルグリセロールの濃度低下作用がみられ、両者を組み合わせた飼料群で大きな低下が観察された。また、変動幅は少ないものの、魚油と α -リポ酸に有意に肝臓コレステロール濃度を低下させる作用があることも観察された。逆に、魚油と α -リポ酸両者にリン脂質濃度を上昇させる作用があった(データ省略)。

図2に肝臓の脂肪酸合成系酵素の活性を示した。脂肪酸合成系酵素として、脂肪酸合成酵素、ATPクエン酸リアーゼ、グルコース6リン酸脱水素酵素、6-ホスホグルコン酸脱水素酵素、リンゴ酸酵素、ピルビン酸キナーゼの活性を測定した。いずれも魚油および α -リポ酸によって活性が低下し、両者を組み合わせた飼料群では値は極めて低くなった。

各種脂肪酸合成系酵素および脂肪酸合成

系酵素の発現調節に關与する転写因子 Srebp-1c の mRNA 量を図3に示した。いずれの酵素の mRNA 量も魚油および α -リポ酸によって値が低下し、両者を組み合わせた飼料群では値は極めて低値を示した。この観察と一致して Srebp-1c の mRNA 量も魚油と α -リポ酸両者により有意に低下した。

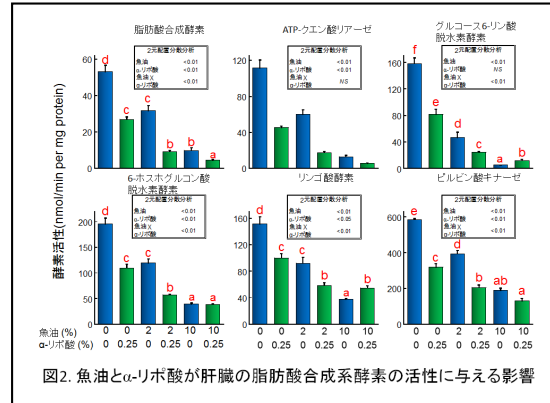


図2. 魚油と α -リポ酸が肝臓の脂肪酸合成系酵素の活性に与える影響

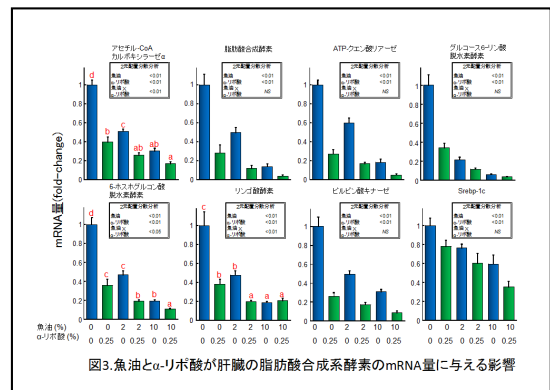


図3. 魚油と α -リポ酸が肝臓の脂肪酸合成系酵素のmRNA量に与える影響

肝臓の酸化ストレスに関連した指標に与える影響について図4に示した。マロンジアルデヒド濃度は魚油により上昇した。また血清での値と比べて変化は少ないものの、やはり α -リポ酸によって値が低下した。このことから肝臓においても α -リポ酸は魚油により引き起こされる酸化ストレスの軽減に有効であると考えられる。また、抗酸化成分で活性酸素の除去に重要な役割を果たすグルタチオンの濃度は魚油および α -リポ酸両者により増加した。魚油および α -リポ酸両者によりグルタチオン合成の制御酵素 γ -グルタミルシステイン合成酵素の活性上昇と酵素の2つのサブユニット、すなわち触媒ユニットと修飾ユニットの mRNA 量の上昇が観察されることからこのグルタチオン濃度上昇は肝臓でのグルタチオン合成増加に基づくと考えられる。また、グルタチオンと同じく活性酸素除去機能があると考えられているメタロチオネインの分子種であるメタロチオネイン1とメタロチオネイン2Aの mRNA 量が魚油および α -リポ酸両者により増加することも示された。特に α -リポ酸による増加は数十倍にも達した。

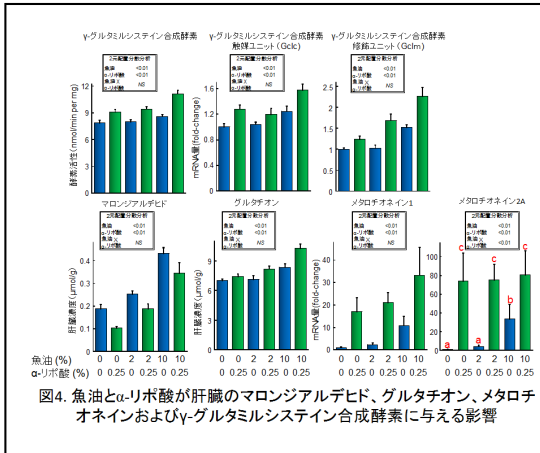


図4. 魚油と α -リポ酸が肝臓のマロンジアルデヒド、グルタチオン、メタロチオネインおよび γ -グルタミルシステイン合成酵素に与える影響

今回のラットでの研究により、魚油と α -リポ酸の組み合わせは、脂肪酸代謝に影響を与え、優れた脂質代謝改善機能を示すことが明らかにされた。両者の組み合わせによる強い脂質低下作用は主に脂肪酸合成系酵素の活性と遺伝子発現の低下に基づくと考えられた。 α -リポ酸と魚油は血清のインスリン、レプチン、アディポネクチン濃度を変化させるので、このような液性因子が観察された脂質代謝変化に関与する可能性が考えられる。

また、 α -リポ酸は血清と肝臓のマロンジアルデヒド濃度および血清の8-ヒドロキシデオキシグアノシン濃度を低下させるので魚油により引き起こされる酸化ストレスの軽減に有効であると考えられた。

α -リポ酸は肝臓グルタチオン濃度やメタロチオネインの mRNA 量を増加させるので、 α -リポ酸の抗酸化作用にはそれ自身の抗酸化能に加えて、グルタチオンやメタロチオネインなどが関与する生体の活性酸素除去機能の活性化が関与する可能性がある。

(2) エゴマ油と α -リポ酸が脂質代謝と酸化ストレスマーカーに与える影響：表1に本実験で飼料中に添加した油脂の脂肪酸組成を示した。エゴマ油は α -リノレン酸を65%含む油脂であるが、対照油脂としてはパーム油、およびn-6系多価不飽和脂肪酸のリノール酸に富むコーン油を用いた。

表1. 油脂の脂肪酸組成			
	食餌油脂		
	パーム油	コーン油	エゴマ油
	重量%		
10:0	0.1	0.0	0.0
12:0	0.9	0.0	0.0
14:0	0.0	0.0	0.0
16:0	39.1	10.7	5.6
16:1 (n-7)	0.0	0.0	0.0
18:0	2.3	1.0	0.9
18:1 (n-9)	42.6	27.5	15.7
18:2 (n-6)	14.9	60.1	12.8
18:3 (n-3)	0.2	0.6	65.0

図5にエゴマ油と α -リポ酸が血清中の脂質に与える影響を示した。また、血清をポリエチレングリコール5,000により処理することで、アポリポタンパク質Bを含むリポタンパク質(極低密度リポタンパク質、VLDLおよび低密度リポタンパク質、LDL)を沈殿させ、上清の高密度リポタンパク質(HDL)を含む画分を調製し、含まれるコレステロールおよびリン脂質濃度について測定した。VLDL+LDL画分での脂質濃度は血清総脂質濃度からHDL画分での値を差し引くことにより計算した。

エゴマ油と α -リポ酸はトリアシルグリセロールの血清濃度を相加的に低下させた。

α -リポ酸無添加食群では、エゴマ油は他の油脂に比べて、血清のコレステロールとリン脂質濃度も低下させた。 α -リポ酸はパーム油およびコーン油群では有意にコレステロール値を低下させ、リン脂質でも低下傾向がみられた。しかし、エゴマ油群では α -リポ酸の効果認められなかった。 α -リポ酸とエゴマ油によるコレステロールとリン脂質濃度の大きな変化はHDLの画分では観察されず、血清中でのコレステロールとリン脂質濃度の変化は、主にVLDLとLDLでの変化に基づくものと考えられた。

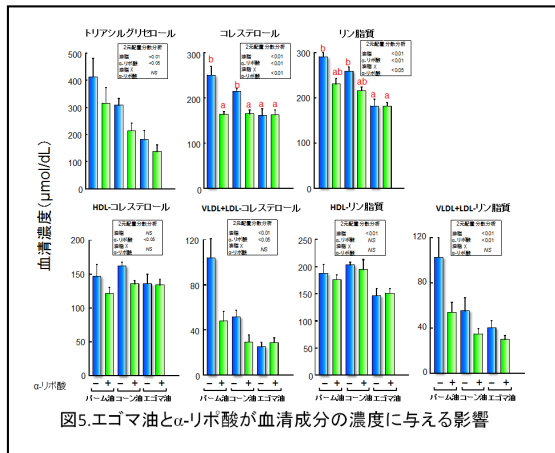


図5. エゴマ油と α -リポ酸が血清成分の濃度に与える影響

α -リポ酸無添加食群において、パーム油と比較しコーン油およびエゴマ油では種々の脂肪酸合成系酵素の活性を低下させたが、コーン油とエゴマ油群間で活性に差は見られなかった。各油脂群において、有意差が認められない場合もあったが、 α -リポ酸の添加は種々の脂肪酸合成系酵素の活性を低下させた(データ省略)。

図6に各種脂肪酸合成系酵素と脂肪酸合成系酵素の発現調節に関与する転写因子Srebp-1cの mRNA 量を示した。パーム油と比較し、コーン油とエゴマ油はほとんど全ての酵素の mRNA 量を低下させたが、コーン油とエゴマ油間の差はなかった。また、 α -リポ酸は全ての油脂群において各種酵素の mRNA 量を低下させた。Srebp-1cの mRNA 量に油脂の有意な効果は見られなかったが、 α -リポ

酸は有意にその値を低下させた。

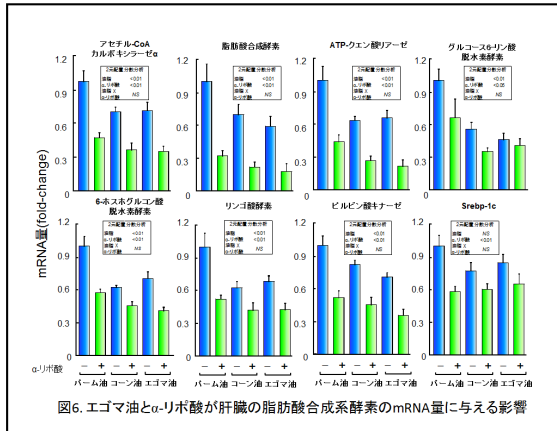


図6. エゴマ油と α -リポ酸が肝臓の脂肪酸合成系酵素のmRNA量に与える影響

図7に脂肪酸酸化系酵素の活性を示した。エゴマ油は他の油脂と比較し、多くの β 酸化系酵素の活性を上昇させた。特に α -リポ酸無添加食群でカルニチンアシル転移酵素活性は大きく増加した。 α -リポ酸を飼料に添加すると酵素によりその活性の低下が見られる場合があり、特にオクタノイル-CoA とパルミトイル-CoA を基質として用い測定したカルニチンアシル転移酵素活性は α -リポ酸により大きく低下した。このことから、 α -リポ酸は肝臓の 酸化を抑制する可能性が考えられる。

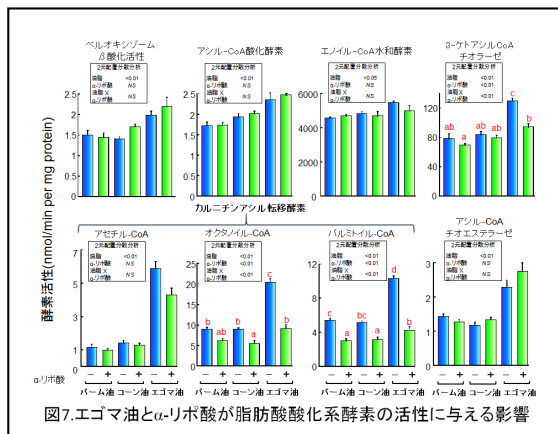


図7. エゴマ油と α -リポ酸が脂肪酸酸化系酵素の活性に与える影響

パーム油およびコーン油群と比較し、エゴマ油は種々のミトコンドリア脂肪酸酸化系酵素の mRNA 量を有意に上昇させた。カルニチンパルミトイル転移酵素 1a の mRNA 量は α -リポ酸により著しく低下し、カルニチンアシル転移酵素活性の α -リポ酸による低下はこの酵素の発現低下に基づく可能性が考えられる。 α -リポ酸は他の酵素の mRNA 量には影響を与えなかった。また、エゴマ油は種々のペルオキシゾームの脂肪酸酸化系酵素の mRNA 量も増加させた。また、 α -リポ酸はこの中で二頭酵素の mRNA 量を低下させた（データ省略）。

図8に酸化ストレスに関連した指標に与える影響について示した。血清のマロンジアルデヒド濃度はエゴマ油により上昇し、 α -リポ酸によって低下した。肝臓も同様の傾向を示したが、血清の場合と比較すると α -リポ酸の

効果は必ずしも顕著ではなかった。また、グルタチオンの肝臓濃度に油脂と α -リポ酸の明確な影響は認められなかったが、グルタチオン合成の律速酵素である γ -グルタミルシステイン合成酵素の活性は α -リポ酸により上昇した。また、 α リポ酸はグルタチオン還元酵素の活性を上昇させた。

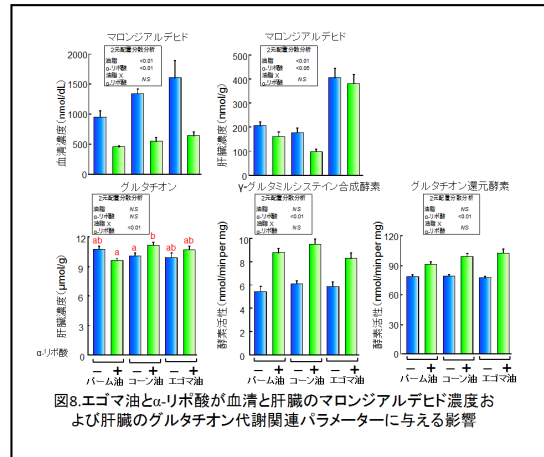


図8. エゴマ油と α -リポ酸が血清と肝臓のマロンジアルデヒド濃度および肝臓のグルタチオン代謝関連パラメーターに与える影響

図9に肝臓の酸化ストレス防御に関わる種々タンパク質の mRNA 量を示した。酵素活性で得られたデータと一致して、 α -リポ酸はグルタチオン還元酵素と γ -グルタミルシステイン合成酵素の2つのサブユニットの mRNA 量を増加させた。また、 α -リポ酸は活性酸素除去機能を持つ種々のたんぱく質の mRNA 量を増加させた。特にメタロチオネイン mRNA 量の増加は、数十倍から 100 倍以上にも達した。また、これら因子の mRNA 量はエゴマ油により増加することも示された。しかし、これら酸化ストレス防御因子の遺伝子発現調節を行う Nrf2 の mRNA 量には油脂と α -リポ酸の影響は観察されなかった。

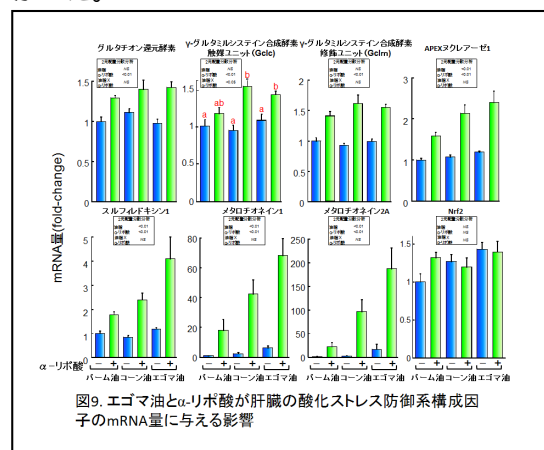


図9. エゴマ油と α -リポ酸が肝臓の酸化ストレス防御系構成因子のmRNA量に与える影響

以上のように、本実験条件下ではエゴマ油自身の脂質低下作用が非常に強いいため、 α -リポ酸の併用によるさらなる脂質低下は認められなかった。エゴマ油の脂質低下作用には脂肪酸合成の抑制とともに、脂肪酸酸化の上昇が関与していると思われる。本実験の結果 α -リポ酸は脂肪酸酸化活性を抑制する可能性

が示唆され、これがエゴマ油群で α -リポ酸による脂質低下が観察されなかった要因である可能性がある。

マロンジアルデヒド濃度の変化からエゴマ油は酸化ストレスを上昇させることが明白である。 α -リポ酸のエゴマ油による酸化ストレス抑制作用は血清では明確に観察されたが、肝臓での作用は明らかではなく、 α -リポ酸がエゴマ油により引き起こされる酸化ストレスの軽減に有効であるかについてはさらなる検討・確認が必要である。

前の実験の結果とともに、本実験の結果からも α -リポ酸に報告されている酸化ストレス防御作用に活性酸素除去機能を持つ種々のタンパク質の発現上昇が関与する可能性が示唆された。また、エゴマ油にもこれら因子の mRNA 量を増加させる作用があることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6 件)

Ide T, Azechi A, Suzuki N, Kunimatsu Y, Nakajima C, Kitade S. Effects of dietary α -lipoic acid enantiomers on hepatic fatty acid metabolism in rats. *Journal of Functional Foods*. 2013;5(1):71-9.

Ide T, Azechi A, Kitade S, Kunimatsu Y, Suzuki N, Nakajima C. Combined effect of sesamin and α -lipoic acid on hepatic fatty acid metabolism in rats. *European Journal of Nutrition*. 2013;52(3):1015-27.

Ide T. Combined effect of sesamin and soybean phospholipid on hepatic fatty acid metabolism in rats. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 2014;54(3):210-8.

Ide T. Effect of dietary α -lipoic acid on the mRNA expression of genes involved in drug metabolism and antioxidation system in rat liver. *British Journal of Nutrition*. 2014;112(3):295-308.

Ide T, Azechi A, Kitade S, Kunimatsu Y, Suzuki N, Nakajima C, Ogata N. Comparative Effects of Sesame Seeds Differing in Lignan Contents and Composition on Fatty Acid Oxidation in Rat Liver. *Journal of Oleo Science*. 2015;64(2):211-22.

Hashimoto T, Ide T. Activity and mRNA Levels of Enzymes Involved in Hepatic Fatty Acid Synthesis in Rats Fed Naringenin. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 2015;63(43):9536-42.

[学会発表](計 4 件)

神保 美珠稀, 板倉 理夏, 岡野 汐莉,

亀岩 麻由子, 川尻 美紀, 設楽 ありさ, 高橋 希, 井手 隆. 魚油と α -リポ酸が肝臓の脂肪酸合成と酸化ストレスマーカーに与える影響. 第 68 回日本栄養・食糧学会講要 p.216, 2014 年 5 月 31 日, 酪農学園大学 (北海道, 江別市)

岩本 珠美, 木内 翔子, 井手 隆, 濱口 恵子, 吉田 早織, 四辻 穂奈美, 川内野 春香, 森 三樹雄. ストレプトゾトシン誘導糖尿病ラットに対する落花生種皮投与の影響. 第 68 回日本栄養・食糧学会講要 p.188, 2014 年 5 月 31 日, 酪農学園大学, (北海道, 江別市)

Ide T, Jinbo M, Itakura A, Okano S, Kameiwa M, Kawaziri M, Sitara A, Takahashi N. Interrelated effects of fish oil and α -lipoic acid on hepatic fatty acid synthesis and parameters for oxidative stress in rats. 12th Asian Congress of Nutrition, 2015 年 5 月 15 日, パシフィコ横浜(神奈川県, 横浜市)

田中 藍, 井手 隆. エゴマ油と α -リポ酸が肝臓の脂肪酸代謝と酸化ストレスマーカーに与える影響. 第 6 回機能油脂懇話会 2015 年 11 月 14 日, 明治大学駿河台 (東京都, 千代田区)

[図書](計 3 件)

井手 隆. ニュートリゲノミクスを基盤としたバイオマーカーの開発 - 未病診断とテーラーメイド食品開発に向けて - (大澤俊彦, 合田敏尚監修) [担当部分] 第 3 編, 第 3 章. ゴマリグナン pp.89-96, 2013 年 9 月, シーエムシー出版, 大阪.

井手 隆. ゴマリグナンの脂肪酸代謝への影響. *Functional Food*. 2013; 7(2) 112-118, フジメディカル出版, 大阪.

井手 隆. ゴマの機能と科学 (並木満夫・福田靖子・田代亨 編). [担当部分] 4 ゴマの栄養と健康の科学. 4.4 ゴマリグナンの脂肪酸代謝への影響 pp.99-115

(4.4.1 n-6 系、n-3 系脂肪酸の生体内不飽和化反応に及ぼす影響 pp.99-104、4.4.2 脂肪酸 酸化、生合成に及ぼす影響 pp.104-109、4.4.3 コレステロール代謝と血清脂質濃度・動脈硬化に及ぼすゴマリグナンの影響 pp.110-115) \ 4.5 ゴマリグナンの健康機能 pp.116-118. 2015 年 1 月, 朝倉書店, 東京.

6. 研究組織

研究代表者

井手 隆 (IDE TAKASHI)

十文字学園女子大学・人間生活学研究科
食物栄養学専攻兼人間生活学部・食物栄養学科・教授

研究者番号: 20127971