

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350138

研究課題名(和文) 食生活における脂質・炭水化物の種類と量は大豆の脂質代謝改善作用に影響するか？

研究課題名(英文) How do the types and amounts of lipid and carbohydrate affect the lipid metabolism modulated by soybean?

研究代表者

高橋 陽子 (TAKAHASHI, Yoko)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品研究部門 食品健康機能研究領域・上級研究員

研究者番号：50353933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：大豆粉を摂取したラットのうち、スクロース主体の食餌では肝臓の中性脂肪濃度の低下が認められたが、スターチ主体、脂肪主体の食餌ではそのような傾向は見られず、食餌炭水化物の種類や脂質の量は大豆の脂質代謝改善作用に影響することが示唆された。煎り大豆、大豆飲料、蒸し大豆を添加した飼料を用いた試験では、高スターチ、高スクロース、高脂肪食ともに、蒸し大豆を摂取した群で肝臓での胆汁酸合成酵素mRNA発現量上昇や糞便中への胆汁酸排出量の増加が認められた一方、煎り大豆ではこのような作用は小さいことが示された。

研究成果の概要(英文)：Soybean powder with sucrose-based diet reduced hepatic triacylglycerol level, whereas that with starch-based diet or high-fat diet did not change the level significantly. Thus, the differences of carbohydrate and fat types of diets may affect on the hypolipidemic property of soybeans. Among roasted soybean, soy drink, and steamed soybean, the third one increased the level of mRNA expression of hepatic Cyp7a1 and the amount of fecal bile acids. However, roasted soybean was less effective to increase these values.

研究分野：食品栄養化学

キーワード：食品の機能性 調理加工 大豆 脂質代謝

1. 研究開始当初の背景

(1) 種々の疫学的研究の結果から、大豆を日常的に摂取する集団では、人種や地域を問わず、血中総コレステロール濃度や BMI 値が有意に低いことが明らかになっている。一方、脂質代謝改善作用に關与すると考えられている大豆タンパク質やイソフラボンを用いたヒト介入試験では、血中脂質濃度低下や体脂肪量減少等の生理的変化が明確でなかった例が少なくない。これは、大豆「成分」ではなく、「大豆や大豆食品」を摂取しなければ得られない効果があることを示唆している。

(2) 本研究の代表者らは、ラットを用いた食餌試験で、大豆のタンパク質と脂質成分それぞれが作用する脂質代謝改善メカニズムを検討した。その結果、精製された大豆成分では変化がなく、大豆粉摂取では有意に低下した肝臓の中性脂肪濃度のように、「タンパク質や脂質以外の成分も含む」大豆そのものを摂取しなければ発現しえない有益な作用があることを確認した。

(3) また、本研究の予備実験において、大豆タンパク質によるラット肝臓および血清中性脂肪濃度低下作用は、主要炭水化物源がコーンスターチのときは認められたが、スクロースでは再現することができなかった。大豆の脂質代謝改善作用は、同時に摂取する栄養成分の種類が影響すると考えられる。

(4) わが国では、食の欧米化が進み、中食・外食への依存度が大きくなり、かつての日本食とは異なる食事になりつつある。効果的に大豆の機能性を享受するためには、大豆の摂取量だけでなく、ベースとなる食餌内容との組み合わせも併せて検討することが重要である。

2. 研究の目的

(1) 現代の食生活モデルとして「高スクロース・低脂肪食」あるいは「高スターチ・高脂肪食」を設定し、従来の日本型食生活モデルである「高スターチ・低脂肪食」と比べて、大豆そのものの脂質代謝改善作用は、主要エネルギー源となる脂質・炭水化物の種類や量の影響を受けるのかを、ラットを用いた食餌試験により検討する。

(2) 日本では多くの大豆食品が製造・消費されているが、それぞれの栄養成分や物性等は同一ではなく、脂質代謝改善作用もその食品特有の性質があると予想される。そこで大豆そのものだけでなく、異なる種類の大豆食品で脂質代謝改善作用に違いはあるか、さらに、同時摂取する主要エネルギー源との組み合わせ効果を検討する。

3. 研究の方法

(1) 異なる炭水化物源および脂質源が大豆の脂質代謝改善作用に及ぼす影響

① 食餌試験に供した大豆は、試験の阻害要因となる各種酵素を失活させた大豆粉とした。
② 対照となる基礎食は、1) 高スターチ低脂肪食、2) 高スクロース低脂肪食、3) 高スターチ高脂肪 (コーン油及びパーム油) 食の 3 種類とし、それぞれの飼料への大豆粉添加量は 300 g/kg として、合計 6 群を設定した。その他の食餌成分は AIN-93G に準じた。4 週齢の雄 SD 系ラット (n=7-8) にいずれかの飼料を自由摂取させ、3 週間飼育した。対照群食のタンパク質、脂質、食物繊維量は、大豆食の大豆粉に含まれる量に準じてカゼイン、コーン油、セルロースの添加により調整した (高スターチ高脂肪大豆食の脂質含有量を除く)。
③ 飼育期間中の摂食量、体重増加量、飼育終了後の肝臓および脂肪組織重量を測定した。血清、糞便、肝臓を試料として、1) 血清及び肝臓脂質濃度、2) 肝臓での脂質代謝 (脂質の合成・酸化)、3) 肝臓と血流間の脂質輸送 (脂質クリアランス)、4) 糞便中への脂質排出 (脂質の消化・吸収) の観点から、大豆の脂質代謝改善作用を評価した。

(2) 大豆食品 (大豆の調理加工) の違いが異なる炭水化物源および脂質源を含む食餌条件下で脂質代謝に及ぼす影響

① (1) の実験では大豆粉を使用した。ここでは、同じ大豆原料から煎り大豆、大豆飲料、蒸し大豆を調製し、大豆食品とした。いずれも大豆をほぼ丸ごと使用し、栄養組成はそれぞれおおむね同等であることを確認した。このことから、これらの食品間で脂質代謝に及ぼす影響に差が認められれば、栄養成分ではなく調理加工による物理的・化学的な成分の変性によるものであると推察できる。

② 3 種類の大豆食品間での違いは、(1) の試験で実施した 3 種類の基礎食を用いて比較した。実験 1 では高スターチ低脂肪食、実験 2 では高スクロース低脂肪食、実験 3 では高スターチ高脂肪食で実施した。試験方法は (1) と同じである。

③ 飼育期間中、飼育終了後の測定項目も、(1) の試験に倣って設定し、3 つの実験結果を解析、比較することで、大豆食品の種類及び食餌炭水化物源・脂質源の、脂質代謝改善作用における関連性を検討した。

(3) 統計処理：ソフトウェア SPSS Statistics 22 を用いてデータの統計解析を行った。(1) の試験では、基礎食、大豆添加、基礎食×大豆添加の相互作用について、二元配置分散分析で解析した。(2) の試験では、食餌群間の有意差は一元配置分散分析により解析した。有意差が生じた場合 ($p < 0.05$) は、Tukey 法により post hoc 検定を実施した。グラフ中の各測定値は means ± SD で示した。

4. 研究成果

(1) 異なる炭水化物源および脂質源が大豆粉の脂質代謝改善作用に及ぼす影響

血清中性脂肪濃度は、基礎食の種類によって大豆粉摂取への応答が異なっていたが、有意な違いではなかった(図 1A)。肝臓中性脂肪濃度は、高スクロース食と比べ高脂肪食で有意に高く、高スクロース食では大豆摂取により有意ではないが低下傾向が見られた(図 1B)。

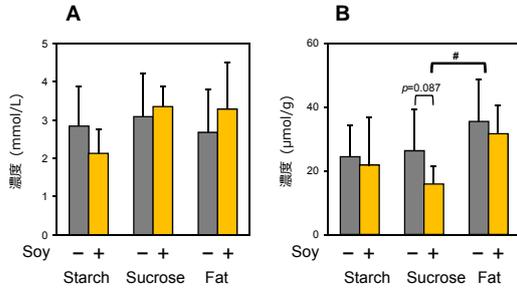


図 1 ラット血清および肝臓の中性脂肪濃度

基礎食の種類間で有意差があったことを示す ($p < 0.05$)

高スクロース食で大豆粉が肝臓中性脂肪濃度を低下させる作用機序を解明するため、肝臓での脂質代謝の違いを解析した。高スクロース食は、他の基礎食よりも脂肪酸合成系を上げる傾向があり、大豆粉による関連酵素活性(図 2A) および mRNA 発現量(図 2B) の低下作用は、他の基礎食と比べて相対的に大きかった。

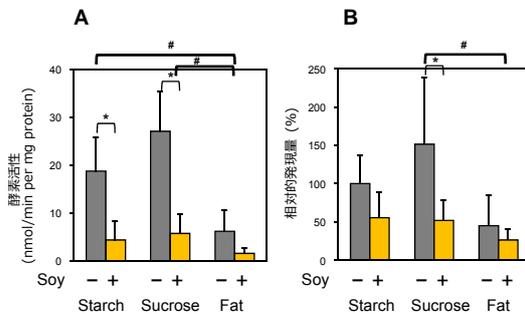


図 2 ラット肝臓の脂肪酸合成酵素活性 (A) および mRNA 相対的発現 (B) 量

基礎食の種類間で有意差があったことを示す ($p < 0.05$)
* 大豆添加の有無間で有意差があったことを示す ($p < 0.05$)

高スクロース食では、大豆粉摂取による肝臓 Lipolysis stimulated lipoprotein receptor の mRNA 発現量低下(図 3A) とホルモン感受性リパーゼの mRNA 発現量上昇(図 3B) が特異的に見られた。これらの現象が、肝臓への脂質流入の抑制と中性脂肪分解の促進につながり、肝臓での中性脂肪の蓄積が低下したと考えられた。

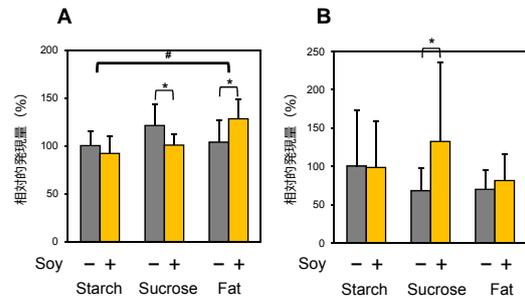


図 3 ラット肝臓の Lipolysis stimulated lipoprotein receptor (A) およびホルモン感受性リパーゼ (B) の mRNA 相対的発現量

基礎食の種類間で有意差があったことを示す ($p < 0.05$)
* 大豆添加の有無間で有意差があったことを示す ($p < 0.05$)

このように、基礎食のタイプによっては、大豆粉が有する脂質代謝調節作用の一部に違いが生じることが示された。

(2) 大豆の調理加工の違いが、異なる炭水化物源および脂質源を含む食餌条件下で脂質代謝に及ぼす影響

3つの基礎食に対して、対照群、煎り大豆群、大豆飲料群、蒸し大豆群を設定し、基礎食ごとに大豆食品が有する脂質代謝改善作用の特性を検討した。調製した大豆食品の栄養組成を分析したところ、大豆飲料では食物繊維量が減少したが、その他の栄養成分には大きな違いはなかった。

① 動物の成長、摂食量、臓器重量
体重増加量、摂取エネルギー量、脂肪組織重量は、大豆食品間で有意な違いはなかった。肝臓重量は、どの基礎食でも対照群と比べ、大豆飲料で有意な低下、または低下傾向を示した。蒸し大豆も同様の傾向であった。

② 血清脂質濃度
中性脂肪濃度は、高スターチ食では大豆飲料により明らかに低下したが、煎り大豆、蒸し大豆による低下は有意ではなかった。高スクロース食では、大豆飲料、蒸し大豆により低下傾向を示し、高脂肪食では蒸し大豆のみ有意に低下した(図 4A-C)。

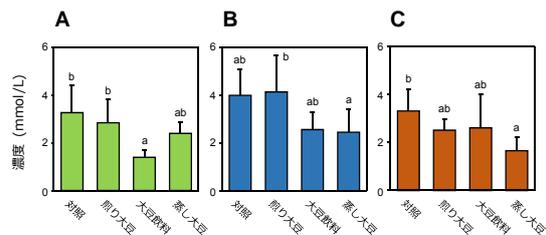


図 4 ラットの血清中性脂肪濃度 (A) 高スターチ食 (B) 高スクロース食 (C) 高脂肪食

ab 異なる文字を有する数値間には有意差があることを示す ($p < 0.05$)

総コレステロール濃度は、高スクロース食、高脂肪食ではどの大豆食品も有意に低下させたが、高スターチ食では、いずれの低下作用も有意ではなかった。(図 5A-C)

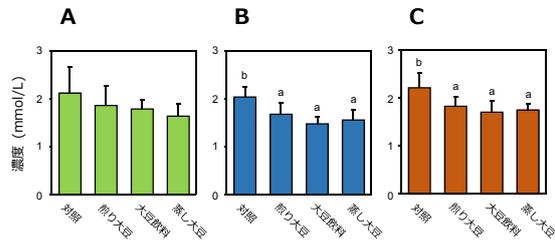


図 5 ラット血清総コレステロール濃度 (A) 高スターチ食 (B) 高スクロース食 (C) 高脂肪食

^{ab}異なる文字を有する数値間には有意差があることを示す ($p < 0.05$)

③ 糞便中の脂質代謝に関連する成分
基礎食のタイプにかかわらず、総脂質量は対照群で最も多く、大豆食品の中では煎り大豆、蒸し大豆、大豆飲料の順に多かった。高スターチ食では大豆食品間で互いに有意な違いがあったが、高スクロース食では有意差がなかったなど、基礎食のタイプによっては大豆食品の作用の大きさが異なるようであった。コレステロールの代謝物である胆汁酸量は、いずれの基礎食においても対照群と比べて蒸し大豆により最も多くなった(図 6A-C)。肝臓から消化管内に分泌される胆汁酸の大半が再吸収されるが、調理加工によって変性した何らかの食品成分が、糞便中への胆汁酸排出量増加に寄与していると考えられる。また、基礎食のタイプは胆汁排泄量に影響し、高スターチ食と比べ、高脂肪食で明らかに減少していた。

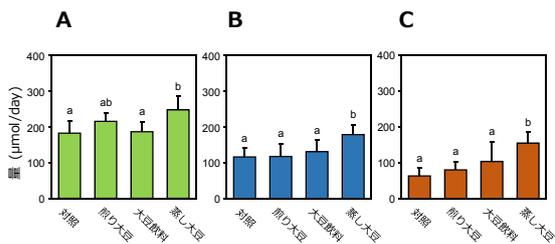


図 6 ラット糞便中胆汁酸量 (A) 高スターチ食 (B) 高スクロース食 (C) 高脂肪食

^{ab}異なる文字を有する数値間には有意差があることを示す ($p < 0.05$)

④ 肝臓での脂質代謝
大豆食品摂取による脂肪酸合成系の抑制作用は、(1)の実験と同様に顕著であり、基礎食の種類にかかわらず食品間での違いは見られなかった。一方、脂肪酸酸化系については、大豆食品摂取の影響はほとんどなかった。

コレステロール代謝においては、肝細胞から胆汁へのコレステロール排出に関与していると考えられている ATP binding cassette sub-family G, member 5 (Abcg5) の mRNA 量が、ヘテロダイマーを形成する Abcg8 の mRNA 量とともに、血清コレステロール濃度と負の相関が認められた(図 7A-C)。胆汁酸合成の律速酵素である ATP binding cassette sub-family G, member 5 (Cyp7a1) は、高脂肪食条件で対照群と比べて大豆飲料、蒸し大豆により有意に増加した(図 8A-C)。蒸し大豆については、この変化と糞便中の胆汁酸量の増加が一致していた。

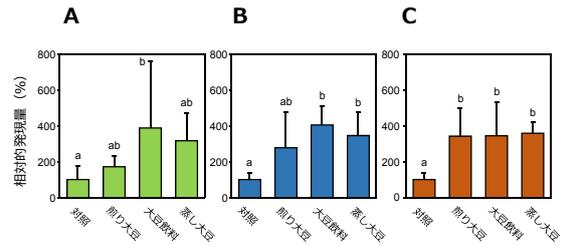


図 7 ラット肝臓 Abcg5 の相対的 mRNA 発現量 (A) 高スターチ食 (B) 高スクロース食 (C) 高脂肪食

^{ab}異なる文字を有する数値間には有意差があることを示す ($p < 0.05$)

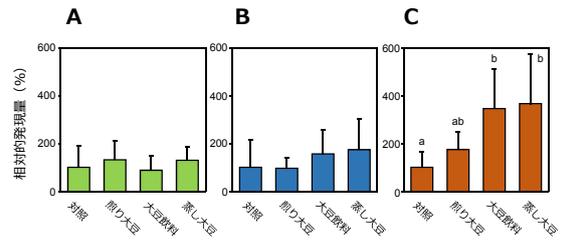


図 8 ラット肝臓 Cyp7a1 相対的 mRNA 発現量 (A) 高スターチ食 (B) 高スクロース食 (C) 高脂肪食

^{ab}異なる文字を有する数値間には有意差があることを示す ($p < 0.05$)

一方、コレステロール合成の律速酵素である HMG-CoA リダクターゼの mRNA 量は、血清コレステロール濃度とは相関がなかったことから、大豆食品による血清コレステロール濃度調節作用には肝臓における合成系の制御は含まれないことが示唆された。

以上のような研究結果から、大豆食品の摂取は、基礎食のタイプによって血清中性脂肪濃度への影響が異なり、また、大豆食品の種類によっても差が見られたことは、大変興味深い現象である。しかし、本研究で解析した範囲では、その違いを説明するような脂質代謝系の調節機構を明確に説明することができなかった。高脂肪食や砂糖の摂取が増えている現代の食生活で、大豆食品を活用した脂質代謝改善作用が期待できるような情報を提供するためには、さらなる研究が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Yoko Takahashi, Takahiro Ishiguro, Hisashi Murasawa, Yuko Ishikawa-Takano, Jun Watanabe, Kohji Yamaki, Comparison of the effects of differently processed soy foods on lipid metabolism in rats. Food Science and Technology Research, 査読有、Vol. 23、No. 1、2017、163-168.
<http://doi.org/10.3136/fstr.23.163>

[学会発表] (計2件)

- ① 高橋陽子、八巻幸二、調理加工が大豆食品の脂質代謝調節機能に及ぼす影響：スターチ食とスクロース食における比較、日本農芸化学会 2017 年度大会、平成 29 年 3 月 18 日、「京都女子大学 (京都府・京都市)」
- ② 高橋陽子、八巻幸二、食餌エネルギー源の組成が大豆の脂質代謝改善作用に及ぼす影響、第 70 回日本栄養・食糧学会大会、平成 28 年 5 月 14 日「武庫川女子大学 (兵庫県・西宮市)」

[その他]

ホームページ等

<http://www.naro.affrc.go.jp/nfri-neo/introduction/chart/0201/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 陽子 (TAKAHASHI, Yoko)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品研究部門 食品健康機能研究領域・上級研究員

研究者番号：50353933