

亜麻仁たんぱく質に脂質代謝改善効果はあるのか

吉田 宗 弘, 李 澄 泓, 細見 亮 太, 福永 健 治
 (関西大学化学生命工学部食品栄養化学研究室*)
 (受付 2025年8月26日, 受理 2025年10月7日)

Does Flaxseed Protein Improve Lipid Metabolism?

Munehiro YOSHIDA, Yinghong LI, Ryota HOSOMI, Kenji FUKUNAGA
*Laboratory of Food and Nutritional Sciences, Faculty of Chemistry,
 Materials and Bioengineering, Kansai University*

Summary

To confirm whether flaxseed protein really has an effect on lipid metabolism, we extracted protein from flaxseed meal and administered it to mice. A sodium hydroxide solution adjusted to pH 7.5-9.0 was added to flaxseed meal (protein content 29.4%), 0.1 M hydrochloric acid was added to the extract to adjust the pH to 3-4, and the resulting precipitate was washed and dried to obtain flaxseed protein with 85% protein content. One group (control group) was fed AIN93G diet in which casein was the protein source, and the other group (flaxseed protein group) was fed a diet in which linseed protein replaced half of the casein in the AIN93G diet. Lysine, the limiting amino acid of flaxseed protein, was added to the diet of the flaxseed protein group in the required amount. Body weight at the end of the feeding period was slightly lower in the flaxseed protein group than in the control group, but this difference was not significant. There were no differences between groups in the concentrations of serum proteins and lipid-related components (triglycerides, total cholesterol, and total lipids). There were also no clear differences in liver triglycerides and cholesterol concentrations between the two groups. These results indicate that flaxseed protein is unlikely to have lipid metabolism-improving effects.

アマ科の草本植物であるアマ *Linum usitatissimum* (Fig. 1 左) は中東やユーラシア大陸西域において古代から栽培されてきた。アマの茎の繊維を紡いだ亜麻糸を織ったりネン(亜麻布)は衣類の材料であり、エジプトのミイラを巻く際にも使われていた。亜麻糸はジョージアの洞窟にある3万4000年前の遺跡からも出土しており¹⁾、人類が利用した最古の繊維ともいわれている。

一方、アマの種子である亜麻仁 (Fig. 1 右) は脂質の含有量が40%を超えており、これを圧搾して得られる亜麻仁油は食材だけでなく、空気中の酸素によって硬化する性質ゆえに塗料・油彩用の油としても用いられてきた。亜麻仁油のこのような硬化する性質は、構成脂肪酸の半分以上が酸化されやすい α -リノレン酸であることに由来している。近年、亜麻仁油はn-3系多価不飽和脂肪酸である α -リノレン酸を多量に含有する健康食材として注目されており、その需要が高まっている。

亜麻仁から油を絞った残渣である亜麻仁粕 (linseed meal または flaxseed meal) は亜麻仁油製造の副産物であ

り、古くから家畜飼料に利用されてきた。亜麻仁にはリナマリンをはじめとする青酸配糖体が高濃度に含まれており、これは亜麻仁油ではなく亜麻仁粕に残存している。これらの青酸配糖体はヒトや家畜の腸において消化酵素または腸内細菌の作用によって有毒なシアン化水素を遊離することがある。実際、亜麻仁同様にリナマリンを含有するキャッ



Fig. 1 Photos of flax and flaxseed

Flax was originally a perennial plant, but cultivated varieties are annuals. The flax in the photo on the left has been bred for its flowers. Both photos are copyright-free images provided by PhotoAC.

*所在地：大阪府吹田市山手町3-3-35 (〒564-8680)

サバに関しては、キャッサバでん粉の段階でシアン化水素が10 mg/kgを超えるものについては、食品衛生法第6条第2号（有毒な、若しくは有害な物質が含まれ、若しくは付着し、又はこれらの疑いがあるもの）に該当するものとして取り扱われている。青酸配糖体の分解で生じるシアン化水素は揮発しやすい物質であり、亜麻仁や亜麻仁粕の利用に際しては、蒸らし加熱により青酸配糖体を加水分解し、シアン化水素を揮散させる工程が必要である²⁾。しかしながら、市販製品の中にはシアン化水素の除去が十分に行われていないものも認められる。

亜麻仁粕は家畜だけでなく、実験動物の飼料としても利用されてきた。古い実験では、亜麻仁粕投与がラットやニワトリ雛において亜セレン酸中毒に対する耐性を高めることが示され^{3,4)}、その効果が亜麻仁粕に存在している青酸配糖体によるものであることが明らかにされている⁵⁾。

一方、亜麻仁粕を含む飼料を投与した実験動物において、血清コレステロール濃度の低下に代表される脂質代謝改善効果などが認められている^{6,7)}。亜麻仁にはポリフェノールの一種であるリグナンが含まれ、リグナンには脂質代謝改善効果のあることが報告されている⁸⁾。リグナンは大半が亜麻仁粕に残存していることから、亜麻仁粕による脂質代謝改善効果にはリグナンが関わると考えられる。

他方、亜麻仁粕による脂質代謝改善効果が亜麻仁タンパク質によるものであると主張する報告が存在する⁹⁾。しかし、この報告では、標準飼料中に20%含まれるカゼインをそのまま亜麻仁粕に置換した飼料を成長期の動物に投与している。亜麻仁粕のタンパク質含有量が約30%に過ぎないことから、この報告で用いられた亜麻仁粕をタンパク質源とした飼料は、タンパク質含有量が10%にも満たない低タンパク質飼料であったと推定できる。したがって、この報告における血中脂質関連成分の低下などで示される脂質代謝改善効果は、低タンパク質投与による低栄養状態を反映したに過ぎない可能性がある。

以上より、本研究では、亜麻仁タンパク質に脂質代謝改善効果があるのかを確認する目的で、亜麻仁粕から抽出したタンパク質をマウスに投与し、血清と肝臓の脂質成分を測定した。

実験方法

1. 亜麻仁粕からのタンパク質の抽出

亜麻仁粕はミキバイオテック（大和高田）より購入した。日本食品機能分析研究所（福岡）による分析では、そのタンパク質含量は29.4%、脂質含有量は3.3%であった。

細粉化した亜麻仁粕にpH 7.5～9.0に調整した水酸化ナトリウム溶液を加え、室温下で十分に攪拌混合して抽出液を得た。この抽出液に0.1M塩酸を加えてpHを3～4に調整し、一晚4℃の条件で静置した。析出した沈殿物を室温下で懸濁液のpHが6付近になるまで水洗し、凍結乾燥させたものを亜麻仁タンパク質標品とした。

2. 動物実験

体重17～19gの4週齢ICR系雄マウス20匹を2群に分け、1群（対照群）にはカゼインがタンパク質源であるAIN93G飼料¹⁰⁾、もう1群（亜麻仁タンパク質投与群）にはAIN93G飼料中カゼインの半量を亜麻仁タンパク質標品で置換した飼料を与え、4週間自由摂取法にて飼育した。なお、亜麻仁タンパク質投与群の飼料には、亜麻仁タンパク質の制限アミノ酸であるリジンを0.2%添加し、成長に差が生じないように配慮した。本動物実験は、関西大学動物実験委員会の承認（承認番号、2307）を得て実施した。

3. 分析

飼育期間終了後、すべてのマウスをイソフルラン麻酔下で解剖し、血液と肝臓を採取した。血液は短時間放置後、遠心分離して血清を得た。肝臓は採取後直ちにドライアイス上で凍結し、分析に供するまで-30℃で保存した。

血清については生化学検査を日本医学株式会社（貝塚）に委託した。肝臓は生理食塩水を用いて10%ホモジネートとし、含有される中性脂肪と総コレステロールをキット（それぞれラボアッセイ™ トリグリセライド、ラボアッセイ™ コレステロール、いずれも富士フィルム和光純薬株式会社（大阪））を用いて測定した。

対照群と亜麻仁タンパク質群間の比較は対応のないt検定によって行った。

結果と考察

一連の抽出操作によって薄いベージュ色の亜麻仁タンパク質標品が得られた。ケルダール法による分析では標品のタンパク質含有量は85%であった。なお、対照飼料であるAIN93Gのタンパク質源であるミルクカゼインのタンパク質含有量も85%であった。また、原子吸光法による分析によって食塩の残存がほとんどないことも確認した。105℃乾燥法によって求めた水分含有量が14.5%であったことから、標品における固形分はそのほとんどがタンパク質であるといえる。

亜麻仁粕からタンパク質を抽出する場合、もっとも効率の良いpHは10.0であると報告されている¹¹⁾。しかし、抽出時のpHを高くするとポリフェノール類の抽出効率も高くなる。亜麻仁に含有されるポリフェノールであるリグナンには脂質代謝改善効果のあることが知られている⁸⁾。今回の実験の目的は、亜麻仁タンパク質の脂質代謝改善効果を確認することにあるので、調製する亜麻仁タンパク質にポリフェノール類が混入することはできるだけ避ける必要がある。これらの理由で、今回は抽出に用いる水酸化ナトリウム溶液のpHを7.5～9.0の弱アルカリ性に留めた。標品の色は薄いベージュ色であり、分析はしていないもののポリフェノール類の混入が少ない亜麻仁タンパク質が得られたと思われる。

飼育期間中のマウスの体重変化をFig. 2、飼育期間終了後のマウスの体重と血清生化学検査値、および肝臓の脂質

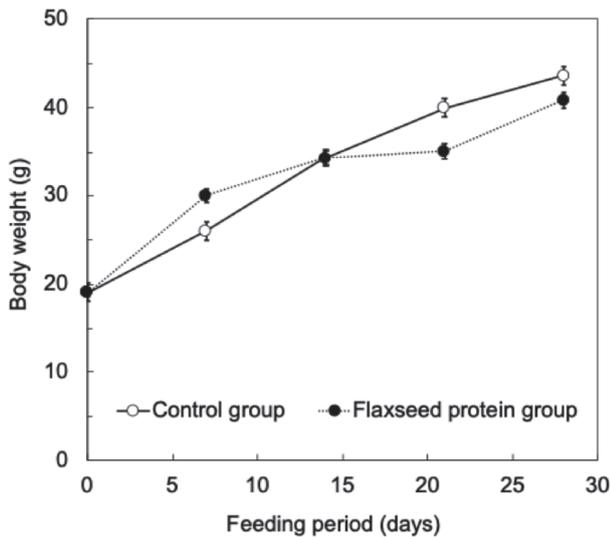


Fig. 2 Growth curves of experimental animals
Points and bars show means and SEM, respectively. No significant differences were found between groups for any of days.

Table 1 Effect of administration of flaxseed protein on mice growth and parameters of lipid metabolism

Parameters	Control group	Flaxseed protein group
Body weight (g)	43.6 ± 0.7	40.9 ± 0.9
Serum		
Albumin (g/dL)	1.65 ± 0.08	1.57 ± 0.07
Total protein (g/dL)	4.85 ± 0.05	4.82 ± 0.07
Total lipid (mg/dL)	516 ± 28	492 ± 21
Triglycerides (mg/dL)	139 ± 11	116 ± 9
Total cholesterol (mg/dL)	135 ± 7	139 ± 5
Uric acid (mg/dL)	4.79 ± 0.36	4.04 ± 0.35
Liver		
Triglycerides (mg/g)	26.1 ± 3.1	30.4 ± 3.3
Total cholesterol (mg/g)	4.79 ± 0.18	5.12 ± 0.18

Values are means ± SEM (n=10). No significant differences were found between groups for any of the parameters.

関連成分の分析値を Table 1 にまとめた。なお、肝臓の中性脂肪と総コレステロールの測定に用いたキットは血清用であり、肝臓のホモジネートに適用できるか定かでないことから、これらは相対的な値と考えて考察する必要がある。

本実験では、亜麻仁タンパク質投与群の飼料には亜麻仁タンパク質の制限アミノ酸であるリジンを追加したが、飼育期間終了後の体重に有意 ($p < 0.05$) ではないものの亜麻仁タンパク質投与群がやや小さいという若干の差が生じていた。同様に、血清アルブミン値も亜麻仁タンパク質投与群がやや低い値であった。これらのことは、亜麻仁タンパク質の消化性がカゼインに比較してやや低い可能性を示しており、今後消化試験などを行う必要があると思われる。血清総脂質と中性脂肪も亜麻仁タンパク質投与群が対照群に比較してやや小さな値を示したが、やはり有意なものではなかった。その他の血清生化学検査の項目 (Table 1 中の総タンパク質、尿酸に加えて、尿素、クレアチニン、アラントランスアミナーゼ活性、アスパラギン酸トランスアミナーゼ活性)、および肝臓の中性脂肪とコレステロー

ル濃度についても両群間で明確な差を認めなかった。

大豆タンパク質や魚肉タンパク質など特定の食品タンパク質に脂質代謝改善効果のあることは多数報告されている^{12,13}。とくに魚肉タンパク質については、今回の実験と同様に対照群飼料のカゼインの半量を置換することでも効果が認められている¹⁴。このことから、亜麻仁タンパク質が魚肉タンパク質と同程度に脂質改善効果を有する可能性は低いと判断できる。

以上のように今回の実験結果は、亜麻仁タンパク質に脂質代謝改善効果があるとする報告に疑問を投げかけるものである。これまでに報告のある亜麻仁粕の脂質代謝改善効果は、低タンパク質飼料を与えたことによる低成長に付随したもの、あるいは亜麻仁粕に含有されるタンパク質以外の成分であるリグナン、食物繊維、残存している可能性のある α -リノレン酸などが関わったものとするのが素直な解釈であろう。それでも、特定の食品タンパク質の脂質代謝改善効果は、高脂肪食や高コレステロール食投与時にお

いてより明確になることも観察されていることから¹⁴、実験条件を整えることによって亜麻仁タンパク質の脂質代謝改善効果が検出できる可能性は残っており、追加の実験が必要であろう。

文 献

- 1) 亜麻のふるさと当別活性協議会 (2023) 亜麻読本, 23 pp, 有限会社亜麻公社, 当別, <https://amafuru.jp/wp-content/uploads/2023/05/am-atokuhon.pdf> (2025年8月24日ダウンロード).
- 2) 厚生労働省 (2000) シアン化合物を含有する亜麻の実の取扱いについて, 各都道府県・各政令市・各特別区食品衛生主管部(局)長あて厚生省生活衛生局食品保健課長通知, https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00ta5951&dataType=1&pageNo=1 (2025年8月25日アクセス).

- 3) Olson OE, Halverson AW (1954) Effect of linseed oil meal and arsenicals on selenium poisoning in the rat. *Proc. South Dakota Acad. Sci* 33: 90-97.
- 4) Jensen LS, Chang CH (1976) Fractionation studies on a factor in linseed meal protecting against selenosis in chicks. *Poultry Sci* 55: 594-599.
- 5) Palmer IS, Olson OE, Halverson AW, Miller R, Smith C (1980) Isolation of factors in linseed oil meal protective against chronic selenosis in rats. *J Nutr* 110: 145-150.
- 6) Bhatena SJ, Ali AA, Haudenschild C, Latham P, Ranich T, Mohamed AI, Hansen CT, Velasquez MT (2003) Dietary flaxseed meal is more protective than soy protein concentrate against hypertriglyceridemia and steatosis of the liver in an animal model of obesity. *J Am Coll Nutr* 22:157-164.
- 7) Ndou SP, Kiarie E, Thandapilly SJ, Walsh MC, Ames N, Nyachoti CM (2017) Flaxseed meal and oat hulls supplementation modulates growth performance, blood lipids, intestinal fermentation, bile acids, and neutral sterols in growing pigs fed corn-soybean meal-based diets. *J Anim Sci* 95: 3068-3078.
- 8) Zhang W, Wang X, Liu Y, Tian H, Flickinger B, Empie MW, Sun SZ (2008) Dietary flaxseed lignan extract lowers plasma cholesterol and glucose concentrations in hypercholesterolaemic subjects. *Br J Nutr* 99: 1301-1309.
- 9) Bhatena SJ, Alib AA, Mohamedc AI, Hansend CT, Velasquez MT (2002) Differential effects of dietary flaxseed protein and soy protein on plasma triglyceride and uric acid levels in animal models. *J Nutr Biochem* 13: 684-689.
- 10) Reeves PG, Nielsen FH, Fahey GC Jr (1993) AIN-93 purified diets for laboratory rodents: Final report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Writing Committee on the reformulation of the AIN-76 A rodent diet. *J Nutr*. 123: 1939-1951.
- 11) Oomah BD, Mazza G, Cui W (1994) Optimization of protein extraction from flaxseed meal. *Food Res Int* 27: 355-361.
- 12) Sirtori CR, Eberini I, Arnoldi A (2007) Hypocholesterolaemic effects of soya proteins: results of recent studies are predictable from the anderson meta-analysis data. *Br J Nutr* 97: 816-822.
- 13) 細見亮太, 吉田宗弘, 福永健治 (2011) 魚肉タンパク質と魚肉ペプチドの健康機能について. *New Food Industry* 53 (12) : 12-19.
- 14) Hosomi R, Fukunaga K, Arai H, Nishiyama T, Yoshida M (2009) Effects of dietary fish protein on serum and liver lipid concentrations in rats and the expression of hepatic genes involved in lipid metabolism. *J Agric Food Chem* 57: 9256-9262.