

◇◇◇ 解説記事 ◇◇◇

# 食の1~3次機能強化と安定供給を目指した大豆加工技術の開発 (食の機能・安定供給)

(大豆の新規加工技術⇒植物タンパク質有効利用⇒栄養・健康維持向上・食料の安全供給)

高橋陽子

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 (農研機構)

## 1. はじめに

大豆は貯蔵が利く農産物として、日本を含む東アジアを中心とした地域で栽培・消費されてきた。大豆にはヒトの消化酵素を阻害するトリプシンインヒビターや、豆の青臭さの原因となるリポキシゲナーゼなどの有害・不味成分が含まれるため、調理加工による除去が必須である。その手法は伝統的な大豆食品の製造法から、新たな付加価値を生む技術にまで発展している。また、大豆の継続的な摂取は、心血管病などの生活習慣病を低減する効果と相関があることが、疫学調査によって認められている [1]。さらに、その効果に寄与する機能性成分と作用機序、その他の健康に有用な大豆の機能性も明らかになっており、これらの知見を生かした特定保健用食品や機能性表示食品の開発が進んでいる (表 1)。とくに大豆タンパク質は、健康機能性だ

表 1 主な大豆由来の機能性成分とその作用

太字は特定保健用食品として許可を受けた、あるいは機能性表示食品として届出が受理された健康機能

関与成分	主な健康機能
タンパク質	<b>血中コレステロール濃度低下</b> , 肝臓脂質合成抑制
イソフラボン	<b>骨・歯の健康</b> , 更年期障害緩和
植物ステロール	<b>血中コレステロール濃度低下</b>
<b>β-コングリニニン (タンパク質)</b>	<b>血中中性脂肪濃度低下</b>
オリゴ糖	<b>腸内環境改善</b>
ペプチド	<b>高血圧改善</b>

## 著者略歴

高橋陽子 (Yoko TAKAHASHI)

1996年 徳島大学大学院栄養学研究科博士前期課程修了

現在 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 (農研機構) 本部 上級研究員

〒305-8517 茨城県つくば市観音台 3-1-1

E-mail: youkot@affrc.go.jp

けでなく物理化学的特性も有用であることから、さまざまな加工食品に利用されている。大豆の食品加工技術は、近年の世界的な人口増加に対応する植物性タンパク質資源の確保という意味でも、重要性を増している。

本稿では、機能性を高める大豆食品の加工技術について触れるとともに、大豆加工食品の健康機能性を評価する試みを紹介したい。

## 2. 食素材としての大豆の利用

### 2.1 日本およびアジア地域での利用

大豆は古代中国が発祥とされている。味噌や醤油のような発酵調味料や、納豆や豆腐のような加工食品とともに伝えられたと考えられており、大豆食の文化は東アジアを中心に伝播した [2]。日本には数千年前に伝わり、独自の調理加工方法が考案されてきた。未成熟時に収穫した大豆をさやごと茹でて食べる方法 (枝豆) は、日本から広まったといわれている。凍り豆腐 (高野豆腐) も、厳冬期の屋外で凍結してしまった豆腐を食べたことから始まる、日本古来の食品であるとの説が有力である。多彩な大豆の食品加工技術は、栄養の消化吸収性を向上させるだけでなく、保存性を高め、日本の食文化を豊かにしている。

### 2.2 欧米諸国での利用

アジア地域とは異なり、欧米では約 100 年前から飼料および油糧作物として栽培・利用されるようになった [3]。大豆は、油脂の原料あるいは家畜の餌とのイメージが強く、長年ヒトの食素材としては考えられていなかった。しかし 1999 年、アメリカの FDA (Food and Drug Administration) により、大豆タンパク質の心血管病予防作用についてヘルスクレームが認可されて以来、大豆タンパク質を利用した加工食品が市場に出回るようになった。ところが、追跡調査の結果、大豆タンパク質の有効性を強く裏付けるデータが少なかったことを理由に、このヘルスクレームを無効化する提案が 2017 年 10 月に出されている [i]。FDA の今後の決定

に注視する必要がある。また、大豆を食べる習慣がなかった欧米では、大豆特有のポリフェノールであるイソフラボンの過剰摂取への懸念もあり、大豆の健康効果に対する評価は分かれているようである。

### 3. 大豆タンパク質利用方法の開発

大豆油を抽出した後の残渣（脱脂大豆）は、油粕として肥料や家畜の肥料として利用される一方、豊富なタンパク質成分を精製し、良質な植物性タンパク質の原料としても供給されている。大豆タンパク質は、乳化性、保水性、ゲル形成性などの特性をもつことから、加工食品の補助的材料、動物性タンパク質の代替品として用いられている。

#### 3.1 大豆タンパク質生産開始以来の用途

大豆タンパク質が製造され始めた1960年代当初から、その特性が加工食品の品質や物性を改善するために活用されてきた [4]。食肉加工品では、結着性向上、肉汁分離防止などの目的で添加されている。また、水産練り製品でも粘弾性改善や保水性調節に効果がある。さらに、ベーカリー製品や麺類、乳製品でも、食感や歩留まりの向上などに活かされている。

#### 3.2 大豆タンパク質二次加工品

大豆タンパク質からがんもどきや油揚げを製造する方法は、1970年代前半から大量生産の現場で広く用いられている [5]。従来の生大豆から製造する方法と比べて、おからを発生させずに、品質が安定した製品を短時間で製造できる。さらに、冷凍流通が可能かつ製品バリエーションの展開が容易であるため、外食産業や給食で重宝されている。

#### 3.3 大豆タンパク質の組織化

1980年代からは、大豆タンパク質をエクストルーダーで組織化する取り組みが活発化し始めた [5,6]。粒状や繊維状、シート状など、形状や物性が異なる大豆タンパク質が製造されている。味付けや調理法の工夫により、見た目や食感がほぼ肉製品の唐揚げやミートボール風大豆食品に仕上げることができるほか、乾燥状態ではスナック菓子のようなクリスピー感が得られる。動物性のタンパク質や油脂を含まないので、ベジタリアン対応食やダイエット食品にも活用されている。

#### 3.4 新たな大豆タンパク質利用食品素材の開発

近年も新たな大豆タンパク質素材の製法が開発されている。その製品の1つが有機溶媒を使わずに特殊な分離方法を用いて作られる、豆乳クリームと低脂肪豆乳である [7]。牛乳のような「こく」や「まるやかさ」

をもつ製品、気泡性に優れた製品、クリームのような食感の製品、チーズのようなテクスチャーをもつ製品が作られており、ヘルシー調理素材として関心を集めている。

大豆タンパク質素材は、加工食品の品質改良剤や動物性タンパク質の代替品としてだけでなく、アミノ酸をバランスよく補い、筋肉の強化が期待できるスポーツ栄養食品、栄養不足や運動機能低下に対応する高齢者用食品への需要も高まっている。

### 3.5 機能性が期待される新しい大豆食品の開発

タンパク質だけでなく、大豆の栄養を余すことなく手軽に摂取できる食品の開発も進んでいる。3.3で紹介したようなフレック状や繊維状大豆食品素材を、タンパク質を分離せずに大豆を丸ごと利用して製造した商品もある [8]。また、大豆を発芽させることでγ-アミノ酪酸（GABA）の含有量を高めた大豆食品も開発されている [9]。そのほかにも、従来の豆乳とは異なりおから成分も含む大豆飲料や、小麦粉の代わりに大豆粉を使ったスナック菓子や栄養補助食品、牛乳の代わりに豆乳を使用したヨーグルトなどが販売されている。

## 4. 調理加工と食品機能性の変化

大豆食品は加工方法次第で、食品の3つの機能性（栄養機能である一次機能、嗜好性に訴える二次機能、生体調節機能である三次機能）を強化することができる。

日本では、大豆の機能性が注目される以前から、豆腐や納豆、煮豆、味噌、醤油など、さまざまな大豆食品が利用されている。各種食品の栄養組成は、同じ原料大豆を使用しても、加工方法の違いによりそれぞれ異なる。実際に、生大豆から煎り大豆と、豆乳、生豆腐、凍り豆腐を順番に製造し、水分を除去した乾燥状態で各食品中の栄養組成の違いを比較した（図1）。主要栄養成分では、タンパク質および脂質の割合は、煎り大豆、

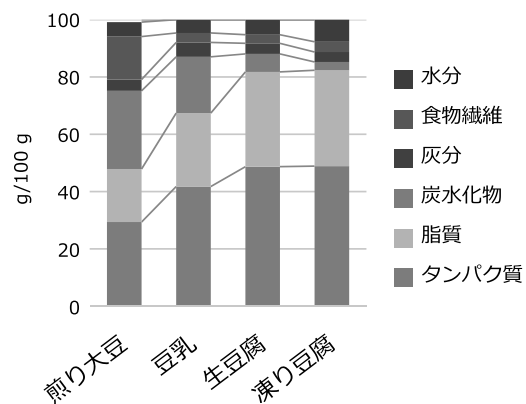


図1 各大豆食品の栄養組成の比較（乾燥重量比）

豆乳、生豆腐および凍り豆腐の順に大きく、炭水化物と食物繊維量は逆に小さくなる傾向だった。調理加工により栄養成分組成が変化することは、各食品が有する機能性の特徴もそれぞれ異なる可能性がある。さらに、栄養組成は変わらなくても、温度やpHの変化、酵素の作用などがもたらす栄養成分の化学構造の変化や分解が食品の機能性変化を示す要因となりうる。その一例が、食品加工による大豆アレルゲンの低減である[10]。発酵食品では、酵母や細菌の働きによりアレルゲンであるタンパク質成分が分解されるため、アレルギー反応が抑制される。また、熱や圧力による物理化学的なアレルゲンの変性も有効である。アレルゲン低減化と同様に、心血管病のリスクファクターである脂質異常症（高脂血症）を改善する効果も、大豆食品の種類や調理加工方法の違いによって差が出るかもしれない。

### 5. 大豆食品間の脂質代謝改善作用の違いを評価する

前項で生大豆から製造した、煎り大豆、豆乳、生豆腐、および凍り豆腐（図1）は、脂質代謝改善作用の違いがあるかを調べるため、ラットを用いた食餌試験で比較した[11]。

乾燥させた大豆食品を、重量比で300 g/kgずつ添加した食餌をラットに自由摂取させて3週間飼育した。その結果、血清および肝臓の中性脂肪と血清総コレステロール濃度は食餌群間で有意差はなかったが、煎り大豆群と比べて豆乳、生豆腐、凍り豆腐群で低下傾向がみられた。このとき、肝臓での脂肪酸合成系酵素の活性を調べると、煎り大豆と比べて豆乳、生豆腐、凍り豆腐群で低下傾向を示していた（図2）。大豆タンパク質は、肝臓の脂肪酸合成系を低下させるとの知見がある[12]。本研究で脂肪酸合成系酵素活性の低下作用が大きかった大豆食品の栄養成分組成をみると、大豆タンパク質含有量の割合が高かった（図1）。したがって、大豆由来のタンパク質を多く含む食品は、肝臓での脂質合成を抑制させる特徴をもつと推定できた。また、糞便中の総脂質量を分析すると、煎り大豆摂取群で他の大豆食品群よりも明らかに増加していた（図3A）。過去の知見[13]から、大豆由来の食物繊維が消化管における食餌由来の脂質吸収を抑制した可能性があり、食物繊維量が比較的多い煎り大豆は、消化管での脂質吸収を抑制したと考えられた。さらに、コレステロールの代謝物である胆汁酸量は、糞便中のレベルが生豆腐と凍り豆腐により有意に増加した（図3B）。凍り豆腐の製造過程では、タンパク質成分が脱水や緩慢凍結、低温熟成を受け、レジスタントタンパクとよばれる消化抵抗性高分子画分が生じる[14]。また、レジスタントタンパクは、カゼインと比べて胆汁酸との結合能が

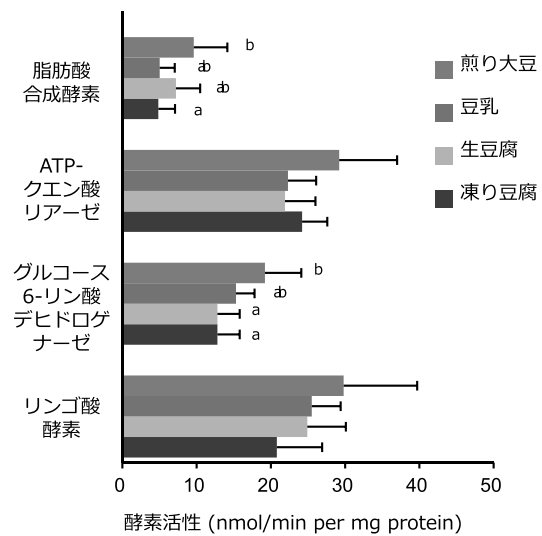


図2 大豆食品摂取が肝臓の脂肪酸合成系酵素の活性に及ぼす影響

<sup>ab</sup>異なるアルファベットを付した数値間には有意差があることを示す ( $p < 0.05$ )

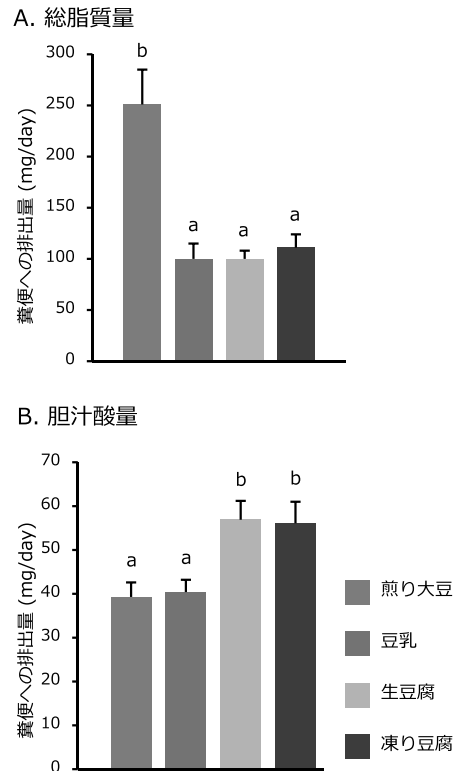


図3 大豆食品摂取が糞便の脂質代謝パラメータに及ぼす影響

<sup>ab</sup>異なるアルファベットを付した数値間には有意差があることを示す ( $p < 0.05$ )

高い。このことから、豆腐として凝集した大豆タンパク質が凍結乾燥されると、腸管での胆汁酸の再吸収を阻害しやすくなるため、コレステロールの吸収抑制に

寄与すると考えられた。

大豆食品が有する脂質代謝改善作用は、含まれる機能性成分の種類や量、物理化学的な特性の違いによって少なからず異なるようである。ここで紹介した研究の結果をみる限り、ラットの血中脂質濃度や肝臓に蓄積する脂質量には食品間の違いは有意でなかったが、肝臓の脂質代謝レベルや脂質の消化吸収レベルでは明らかに異なる指標がみられたため、継続的に摂取することで血中脂質レベルの改善にも反映される可能性がある。このように、加工食品それぞれの機能性の特徴が捉えられれば、個人の代謝状態（例えば、血中コレステロール値だけを改善したい人）や生活習慣（油分が多い食事を取りがちな人）に応じた、適切な大豆食品を選ぶ目安になるかもしれない。

## 6. おわりに

大豆食品の加工技術は時代とともに進化し、美味しくヘルシー、かつバラエティに富んだ植物性食品を安定供給するための工夫が続いている。大豆食品は日本食の基本食材の1つとして欠かすことができない。食品企業、行政、研究者が一体となり、大豆食品のある食生活を支えられるように努力を続けていく必要がある。

## References

- 1) Nagata, C *et al.*; Dietary soy and natto intake and cardiovascular disease mortality in Japanese adults: the Takayama study. *Am. J. Clin. Nutr.*, **105**, 426-431 (2017).
- 2) 三浦芳助; 第27回広島女学院大学公開セミナー論集, pp.1-4 (2010).
- 3) 喜多川啓介; 大豆のすべて, pp.14-19, サイエンスフォーラム, 2010.

- 4) 崎田高史; 大豆タンパク質の製造と食品への利用油化学, **28**, 781-794 (1979).
- 5) 足立朋彦; 大豆のすべて, pp.469-476, サイエンスフォーラム, 2010. 1
- 6) 坂田哲夫; 大豆のすべて, pp.423-430, サイエンスフォーラム, 2010. 2
- 7) 特許第 5077461 号 (2012). 3
- 8) 向山恵, 赤羽邦久, 佐藤重彦; 大豆加工品「AS-K」と加工食品への利用. *ジャパンフードサイエンス*, **264**, 31-40 (1984). 4
- 9) 特願 2014-541949 (2013). 5
- 10) 小川 正, 森山 達哉; 食物アレルギーの現状と対策-大豆アレルギー除去食品の創出と流通機構の構築-. *生活衛生*, **54**, 93-105 (2010). 4
- 11) Y. Takahashi, T. Ishiguro, H. Murasawa, Y. Ishikawa-Takano, J. Watanabe, K. Yamaki; Comparison of the Effects of Differently Processed Soy Foods on Lipid Metabolism in Rats. *Food Sci. Tech. Res.*, **23**, 163-168 (2017). 6
- 12) N. Iritani, H. Hosomi, H. Fukuda, K. Tada, H. Ikeda; Soybean protein suppresses hepatic lipogenic enzyme gene expression in Wistar fatty rats. *J. Nutr.*, **126**, 380-388 (1996). 7
- 13) Young-Sun CHOI, Sung-Hee CHO, Hye-Jin KIM, Hee-Jung LEE.; Effects of Soluble Dietary Fibers on Lipid Metabolism and Activities of Intestinal Disaccharidases in Rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **44**, 591-600 (1998). 8
- 14) T. Ishiguro, H. Murasa; Kori-tofu Making Processes Increase High-molecular-weight Fraction (HMF). *Jpn. Pharmacol. Ther.*, **44**, 613-616 (2016). 9

## URLs cited

- i) [www.fda.gov/news-events/press-announcements/statement-susan-mayne-phd-proposal-revoke-health-claim-soy-protein-reduces-risk-heart-disease](http://www.fda.gov/news-events/press-announcements/statement-susan-mayne-phd-proposal-revoke-health-claim-soy-protein-reduces-risk-heart-disease). (Dec.4 2019). 10

〔化学工学 Vol. 82, pp. 311-313 より転載〕