大豆利用の現状と今後の課題 —育種に期待すること—

廣 塚 元 彦

不二製油(株) フードサイエンス研究所

Current and Future Uses of Soy : Expectations for Soybean Breeding

Motohiko Hirotsuka

Fuji Oil Co., Ltd., Research & Development HQ Food Science Research Institute,
4-3, kinunodai, Tsukubamirai, Ibaraki 300-2497

Soybeans contain many useful nutrients and high-quality proteins. However, around the world today, soybeans are harvested primarily for their oil. This results in huge amounts of defatted soy flour, which is used primarily for live-stock as opposed to human consumption, being created as a correlated by-product. While the flavor and texture of soybeans do pose some minor issues for use in food production, the much larger issue of a population growth-induced food shortage needs to be addressed. Therefore, research on how to improve the use of the whole soybean for human consumption is paramount for the future. Recently, plant breeding and biotechnology have been making remarkable progress. Therefore, it should be possible in the near future to improve the taste, texture, and physiological function of soybeans by applying new technological developments. These improvements should lead to the expanded application of soy-related products worldwide. In order to both improve the favorable and reduce the unfavorable aspects of soy taste, research on the constitution of lipids may be effective. Concerning the improvement of texture, it has been suggested that the re-combination of soy globulin subunits could be useful. With respect to physiology, β -conglycinin fractions have been shown to be effective for the prevention and improvement of metabolic syndrome. Additionally, reducing production cost by altering membrane properties which surround the protein body is discussed.

(Accepted Jun. 11, 2012)

Keywords : soybean, soy protein, taste, breeding

キーワード : 大豆, 大豆たんぱく質, 風味, 育種

本報は今後大豆利用の拡大に繋がる可能性のある方法を, 特に大豆の品種改良の観点から考察した。

1. 大豆利用の現状

インターネットで大豆のことを調べると概ね下記のような記述がある。

大豆には, 植物性たん白質, ビタミン B, ビタミン E, ビタミン K, 鉄分, リン, カリウム, カルシウムなどを豊富に含んでおり, ほぼ完全食品といえる豆類です。大豆に含有されているタンパク質はほかの豆類や穀物の中で最も多く含有しており, 体に必要な必須アミノ酸のほとんどをバランスよく配合されています。また, 大豆の脂質はほとんどのコレステロールを下げる効果がある「リノール酸」「オ

レイン酸」といった不飽和脂肪酸で, 高脂血症などの予防にも有効です。このほか, 大豆には苦味成分である「大豆サポニン」という物質があり, これには, 血圧を下げ, コレステロールを減少させると共に肝臓機能を強化します。さらに, 近年話題になったポリフェノールの一種である「大豆イソフラボン」という女性ホルモンと似た物質が含有されており, これには更年期障害の緩和効果があるとされています。(食育 net より)

これを読む限り, 大豆はたん白質を多く含むだけでなく, その他の多くの栄養素を含んでいるすばらしい食品素材であり, 広く世界中で消費されるべき食品素材だと考えられる。

しかし, 大豆利用の現状はこれとは大きく異なっている。大豆は世界中で年間およそ2億トンが生産される。ところがその用途のほとんどは大豆油の製造に使われる。

大豆から油分を除いた後、排出される残渣、すなわち脱脂大豆は大豆粕と呼ばれ、大半が家畜の餌となる。そして大豆粕で肥育されることによって得られた家畜の肉が、人間の食料となっている。

しかし、脱脂大豆から食肉、例えば牛肉への、飼料としての転換効率は、脱脂大豆 10kg を与えてやっと 1kg の牛肉が得られるといった低いものである。これをたん白質の転換効率に換算すると、5kg の脱脂大豆 (たん白質含有率約 50%) から 150g の牛肉 (たん白質含有率約 15%) しか得られない結果となり、その効率の悪さはさらに拡大する。無論、家畜の種類、牧草の与え方などで、すべてが上記のようになるわけではないが、もし脱脂大豆を直接食糧として利用できるとすると、食糧としてのたん白質源が大きく増加することが容易に想像できる。

一方日本においては、古くから大豆が極めて認知度の高い食品素材、特に良質のたん白質源として知られている。また半世紀ほど前には大豆を含め植物からのたん白質摂取が主であった。しかし近年、植物たん白質の摂取量は減少している一方、動物たん白質の摂取量が増加し、現在では植物たん白質の摂取量を上回っている。そして動物たん白質の摂取量の増加に伴って、油脂摂取量も増加した。この現象は食の欧米化と呼ばれており、栄養問題に携わる多くの研究者は、この欧米化により、メタボリックシンドロームに代表されるような、それまで日本では見られなかったような、様々な循環器系の疾病が見られるようになったと考えている。

冒頭で引用したような、あのようにすばらしい大豆食品の利用が、なぜ拡大しないのであろうか？

以下にその拡大を阻んでいる理由とその改善策を考えてみたい。

2. 大豆の利用拡大に対する課題と改善案

これまで、豆腐や豆乳の風味に関する研究は、主に嫌な味を除くことを目指して来た。特に豆腐は味噌・醤油をベースにした味付けで賞味されるため (冷奴、湯豆腐、味噌汁 等)、豆腐自体には“ほのかな味”はあるものの、“強く主張し印象に残るような味”ではなく、無味を目指す方向に開発が進んだ。しかし近年、大豆は日本においても消費量が伸びず、欧米においては、ほとんど食品用途の拡大がなされていないという現状がある。つまり現在大豆は主に、日本や中国そして一部東南アジアのみで食材とされているに過ぎない。

こうした観点から、大豆の食品への利用、例えば豆腐の消費を伸ばすことを考えた場合、豆腐に「印象に残るような、好まれる特有の味」が必要であると思われる。肉類や乳製品、そしてイモ類でもその風味や食感は、その食材の名前を挙げるだけで想像できる特有のものがある。しかし豆腐の味や食感は頭に浮かんで来ない。反論として「美味

しい豆腐がある」とか「あの食感がすばらしい」と指摘されるかもしれない。しかし今考えようとしていることは、いかにして大豆食品の弱点を克服し、大幅な消費の拡大を目指すかということである。そのためには、主張できるような特有の風味を有するように改良することが、大きな課題だと考えられる。

大豆中に存在する味に関与する成分を列挙すると、中性脂肪、アルデヒド、リン脂質、糖脂質、オリゴ糖、イソフラボン、サポニン、フィチン酸、ミネラル等が考えられる。これらは単独で、もしくは相互作用をしながら大豆特有の味を形成している。しかしこの味は、そのままでは食素材として必ずしも広く好まれるものではない。これに対した例えば小麦は、全粒を粉碎して“小麦粉”として直利用されており、世界規模で認知されている食材と言える。大豆は日本を含め一部アジア地域においては直接食品原料とされているものの、世界規模で見た場合、直接食べるのではなく、あくまで油脂原料としての認識が中心である。

しかし近年、バイオテクノロジーの発展により、種子中のいろいろな成分の増減やバランスを調整できるようになった。従って育種の研究成果として、より特長のある味を持つ大豆を得ることも可能になったと考えられる。ニンジンやトマトは、以前に比較すると格段に美味くなった。それは嫌な味が低減しただけではない。印象に残る味を有するよう育種された結果だろう。同様に、大豆についても、不快味とされる成分を減少させ、無味を目指すだけではなく、“主張できるようなおいしさ”や“好まれる大豆特有の食感”を今以上に指向することが重要であり、また可能であると考えられる。そしてすでにいくつかの特色のある大豆品種が得られている¹⁾。

こうした観点から、育種による大豆の改良技術の一つとして考えられる課題は、油脂成分の組成の変更である。例えばトリアシルグリセロールを構成する脂肪酸は、それぞれに特有の風味を有している。図1に示したように、大豆油と牛脂や乳脂肪の脂肪酸組成は大きく異なっている。大豆油は主に炭素鎖 18 の不飽和脂肪酸を多く含むのに対し、牛脂や乳脂肪は炭素鎖 16 以下の飽和脂肪酸を比較的多く含む。こうした油脂組成の特徴はその融点のみならず、そこに溶解する成分も含め、風味に与える影響は少なくない。大豆油の脂肪酸組成がどのように風味に影響するかを検討することは、風味改良の一つの重要なテーマであると思われる。

もう一つ、風味以外に大きな要素は食感である。大豆にはグロブリンたん白質が含まれる。この大豆グロブリンをカルシウム / マグネシウムや GDL (グルコノデルタラクトン) 存在下で熱凝固をさせることで豆腐が調製される。一方この大豆グロブリンたん白質を等電点で沈殿させ、分離・回収・精製したものが分離大豆たん白質 (SPI) と呼ばれるたん白質素材である。

図1 大豆油, 乳脂肪, 牛脂の主要な脂肪酸組成

分離大豆たん白質は単一のたん白質ではなく、複数のサブユニットから構成されている。佐本ら²⁾、斎藤ら³⁾は脱脂大豆を原料として、各サブユニットを工業的に分画する方法を確立した。さらにその結果、分離大豆たん白質の中には、よく知られているグリシニン (11S) と β -コングリシニン (7S) というサブユニット以外に、それまで知られていなかったもう一つの画分があることが発見された。この画分は、リン脂質や糖脂質が多いため、LP (Lipophilic Proteins) 画分と名付けられた。LP 画分は主に膜たん白質から成っていると考えられるが、この画分を構成するたん白質組成の詳細は不明である。

ケールダール窒素に基づいて測定したこれら3画分のたん白質としての存在比率は(図2)の通りであり、予想以上にLP画分が多いことが判った。

各画分の性質を調べるため、これら3画分(β -コングリシニン, グリシニン, LP)および分離大豆たん白質の乾燥品を調製し、豆腐ゲルとしての物性比較を行った。各々を濃度12%の溶液とした後、GDL(グルコノデルタラクトン)を用いて豆腐を試作した。その結果、各画分の豆腐ゲルは全く異なった物性を示すことが明かとなった(図3)。グリシニン画分から得られた豆腐は極めて硬く、しかしやや脆い。一方 β -コングリシニン画分から得られた豆腐は透明感があり、粘りのある物性となる。そしてLP画分はゲル化しなかった。また、分離大豆たん白質から得られた豆腐は、こうした異なった3種類の物性を併せ持つような物性となった。

この結果から、大豆に含まれる各たん白質画分のバランスを変えることにより、大豆たんぱく質のゲルは様々な物性に変化させることができると考えられる。例えば、グリシニンからは卵白のような、また β -コングリシニンからはゼラチンのような食感のゲルを調製することができる。従って、これらをうまく組み合わせることにより、バラエ

図2 分離大豆たん白質を構成する画分

ティーに富んだ、より印象に残るような食感を有する食品が得られると考えられる。

3. 大豆のさらなる高付加価値化を目指して

大豆は女性ホルモンの一つエストロゲンと良く似た構造を持つイソフラボンを含んでいる。そのため閉経後の女性に対して、更年期障害等を改善する作用があることが示されている。

一方、大豆たん白質画分の中の β -コングリシニンは、重要な生理機能を有することが明らかとなっている⁴⁾。正常な人に比較して、血清中性脂肪の値が高かったり、内臓脂肪が貯まっているヒトが β -コングリシニンを毎日5g(豆乳1kg中に含まれる量に相当)食べ続けると、プラセボであるカゼイン摂取群に比べ、血清中の中性脂肪が低下し、内臓脂肪面積も減少するというヒト試験の結果が得られている(図4)。そしてそのメカニズムは、ネズミでの実験から肝臓における脂肪酸合成酵素の抑制や、肝臓におけるインスリン抵抗性改善によるグルコース取り込み量の増加、アディポネクチンの増加など複数の生理作用によることが示唆されている⁵⁾⁶⁾。

図 3 分離大豆たん白質を構成する画分の豆腐ゲル物性

SPI：分離大豆たん白質，11S：グリシニン，7S： β -コングリシニン，LP：Lipophilic Proteins 図 4 β -コングリシニン摂取によるヒト血清中性脂肪および内臓脂肪面積の変化

日本においても脂質・糖質などによるカロリーの過剰摂取により、脂質異常症、高血圧、そして糖尿病の増加が大きな問題となっている。 β -コングリシニンは、こうした疾病に対する予防・改善策として注目を集めている。

4. 製造コストと環境問題

大豆の加工には、一般に多量の水を必要とする。水の豊富な日本と異なり、世界には水が潤沢に利用できない地域も多く、また水があっても汚濁しているなど、良質な水を多量に使える地域は限られている。従って乾式の粉碎・分級を行うだけで、ほとんど水を使わず大豆（脱脂大豆も含めて）から高たん白質な食品素材を得ることができれば、水資源の乏しい地域でも生産可能な、より汎用的な食材になるものと考えられる。さらに、大豆加工の最終産物として乾燥品を考えた場合、水の使用量を大幅に減少させることができれば、乾燥に要する熱エネルギーのコストも低減でき、同時に熱エネルギーを得るために発生する炭酸ガス

の量も減らすことができる。

あまり水を使わない大豆加工工程として、主に脱脂大豆を原料に用い、エクストルーダーという連続の加熱・膨化装置によって、肉様の製品（組織状大豆たん白質）が調製されている。しかし得られた素材は、風味、食感、溶解性などの点で用途が限られており、高たん白質素材としてはまだ改良の余地が大きい。

こうしたニーズに応える一つの可能性として、もしプロテインボディーを形成する膜が適正な強度を有し、粉碎・分級を行った際、種子からプロテインボディーのみを容易に分離できるような品種を開発することができれば、大豆たん白質の製造コストが大幅に下がることが予想される。そして、得られた低コストで高たん白質の素材は、今問題とされつつある人口増加に伴う食糧難の解決にも有効な、新しいたん白質源となるものと思われる。大豆育種において、このテーマもぜひ検討して欲しいと考える。

5. ま と め

以上思いつくままに大豆の食としての利用を拡大するための、今後取り組むべきであると考えられる課題を羅列した。本報が大豆の研究者や生産関連に従事している方、特に育種に携わっている方にとって、今後大豆の利用拡大を目指す研究の何らかの参考になればと思っている。

繰り返しになるが、人口増加にともなう食糧の必要性を考えたとき、たん白質源としての大豆は今後の食糧の大きな柱になると考えられる。急速に進歩している育種技術をベースに、大豆を新しい視点から見直し、世界中の人々が汎用的に用いることのできる食材にするための研究が進むことを願う。

文 献

- 1) 喜多村啓介, 豆類における成分育種の成果, 農業技術, **50** (10), 35-41 (1995).
- 2) Samoto, M., Maebuchi, M., Miyazaki, C., Kugitani, H., Kohno, M., Hirotsuka, M. and Kito, M., Abundant proteins associated with lecithin in soy protein isolate. *Food Chemistry*, **102**, 317-322 (2007).

- 3) Saito, T., Khono, M., Tsumura, K., Kugimiya, W. and Kito, M., Novel method using phytase for separating beta-conglycinin and glycinin. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **64**, 884-887 (2001).
- 4) Kohno, M., Hirotsuka, M., Kito, M. and Matsuzawa, Y., Decreases in serum triacylglycerol and visceral fat mediated by dietary soybean beta-conglycinin. *J. Atheroscler. Thromb.*, **13**, 247-255 (2006).
- 5) Moriyama, T., Kishimoto, K., Nagai, K., Urade, R., Ogawa, T., Utsumi, S., Maruyama, N. and Maebuchi, M., Soybean beta-conglycinin diet suppresses serum triglyceride levels in normal and genetically obese mice by induction of beta-oxidation, downregulation of fatty acid synthase, and inhibition of triglyceride absorption. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **68**, 352-359 (2004).
- 6) Tachinana, N., Iwaoka, Y., Hirotsuka, M., Horio, F. and Kohno, M., β -conglycinin lowers Very-low-density Lipoprotein- Triglyceride levels by increasing adiponectin and insulin sensitivity. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**, 1250-1255 (2010).

* 大豆に関する様々な知見は、喜多村啓介らの編集による「大豆のすべて」(2010, サイエンスフォーラム,)を参照してください。

(平成24年6月11日受理)