シリーズ—研究小集会 (第 46 回) 大豆部会

解 説

研究小集会「大豆」開催の趣旨 大豆加工食品の美味しさに関する研究 大豆育種の現状と展望

中 森 俊 宏

不二製油グループ本社株式会社

Research on the Deliciousness of Processed Soybean Current State
and Future Prospects of Soybean Breeding

Toshihiro Nakamori

Fuji Oil Holdings Inc., 1 Sumiyoshi-cho, Izumisano-shi, Osaka 598-8540

Soybeans are one of the most widely cultivated and important plant resources in the world. Because of their particularly high protein content, at about 40%, they have been called “the meat of the field.” Soy protein contains all 20 amino acids humans need, and also is rich in 9 essential amino acids. Soybeans also contain various nutritional functional components, not only proteins, such as oligosaccharides, isoflavones, saponins, sterols, and tocopherols. Some soybean genetic resources possess several of these nutritional functional components. Understanding and actively utilizing their genetic mutations could help create soybeans with better nutritional characteristics. Dr. Tetsuya Yamada of the Hokkaido University Research Faculty of Agriculture described progress in the understanding of the molecular control mechanisms of genetic mutations in soybean nutritional functional components in a presentation to the research subcommittee at the 66th annual meeting of the Japanese Society for Food Science and Technology in 2019. Dr. Yamada discussed the current state and future prospects of breeding modifications for improving nutritional functional components. (Accepted Mar. 1, 2021)

Keywords : Breeding, 7S Globulin, 11S Globulin, Soybean isoflavones, Tocopherols

キーワード : 育種, 7S グロブリン, 11S グロブリン, 大豆イソフラボン, トコフェロール

大豆部会の講演では、大豆ならびに大豆加工食品の栄養機能成分や美味しさに寄与する風味成分の解明および評価、さらに発酵により有用な形質を付与・増加させる生産技術の開発を扱ってきた。その一方で、これまで大豆育種に関しては十分に取り上げられていなかった。大豆育種では、多収量化、耐病虫性を目標に各地域の栽培環境に適した多くの品種が開発されてきた。育種過程で突然生まれた遺伝的変異や大豆の野生種であるツルマメなどの遺伝子資源を積極的に活用することで、より栄養特性や機能性特性に優れた大豆を創出できる可能性があり、最近の育種改良の試みを研究小集会で取り上げた。

大豆は、世界的に広範囲に栽培されている重要な植物資源の一つである。2019 年度の大豆の世界生産量は、約 3.4 億トンと世界で最も多く生産されている油糧種子の一つである¹⁾。アジア地域以外で大豆の生産が本格的に開始され

た 1930 年以降、米国を中心に栽培が本格化し短期間で飛躍的に生産量を伸ばしたことから、大豆は Miracle crop と呼ばれている²⁾。世界における大豆栽培地域は非常に広く、赤道直下の熱帯地域から北はスウェーデンやカナダの南部まで、南はアルゼンチン、オーストラリアの南部まで広がっており、各地域の栽培環境や使用用途にあわせた大豆品種数も極めて多い。日本においても北は北海道から南は沖縄まで生産されており、それぞれの地域特性に適合した品種が栽培されている。

大豆の成分は品種により異なるが、タンパク質 (35-45%)、脂肪 (18-20%)、炭水化物 (22-28%) が含まれている。炭水化物のほとんどがオカラと言われる食物繊維でデンプンはほとんど含まれておらず、ショ糖、スタキオースやラフィノースなどのオリゴ糖類が数%含まれている。大豆生理機能成分としては、ビタミン類としてビタミン E

や B1 の含有量が多く, K, A, B2, C, D, 配糖体としてイソフラボンやサポニン, 機能性脂質としてレシチンやステロール, などが含まれている。

大豆タンパク質の主成分は, 11S グロブリンと 7S グロブリンと呼ばれる 2 種類のグロブリンと脂質会合タンパク質で構成されている^{3,4)}。大豆タンパク質の生理機能の研究に関しては, Carroll et al. が血漿 LDL 濃度低下作用を有することを 1975 年に報告した⁵⁾。その後, Sugano らにより難消化性の高分子画分 (HMF) が腸管内において過剰な胆汁酸と結合し体外に排泄するメカニズムを解明した^{6,7)}。米国食品医薬品局 (FDA) は, 大豆タンパク質のコレステロールの低減効果に注目し大豆タンパク質を 1 日あたり 25 g 含む食品について「心臓病のリスクを低減する食品」という表示をすることを認めている⁸⁾。また, 我が国においても特定保健用食品の機能成分の一つになっており, 既に関連商品が何点か販売されている⁹⁾。また, 7S グロブリンに含まれる β コングリシニンに関しては, 内臓脂肪を低減する効果があることが報告されており¹⁰⁾, 特定保健用食品の表示許可を取得している¹¹⁾。

大豆機能性成分の一つであるイソフラボンに関しては, 種子重量の 0.2~0.5% 程度含まれ, 大豆の部位により組成と含量が異なる¹²⁾。豆腐などの伝統的な大豆食品中のタンパク質 1 g 当たりのイソフラボン含量はアグリコン単位で 3.5 mg 程度と報告されている¹³⁾。イソフラボンは, 約 50% がゲニスタイン, 約 40% がダイゼイン, 約 10% がグリシチンで構成されており, 体内で摂取されたダイゼインの腸内菌叢による代謝物であるエクオールの生理機能が注目されている¹⁴⁾。これまでに, イソフラボンを大豆食品の成分として大豆タンパク質と同時に 1~3 か月摂取した場合, 血中脂質改善効果が期待できることが示され¹⁵⁾, 抗エストロゲン作用としてホルモン依存性の悪性腫瘍である乳がんや前立腺がんに対する予防効果もあると報告されている^{16,17)}。

大豆に含まれるこれら機能性成分量が改変された品種を育成することは, 健康社会の実現に大きく貢献する。そこで, 本大会では, 大豆野生種の遺伝資源の研究を通じて, 遺伝的変異とタンパク質や脂質などの成分量の関連性および大豆に含まれる機能性成分の生合成とその蓄積制御機構の解明並びに品質改善に取り組んでいる北海道大学大学院農学研究院基盤研究部門植物遺伝資源学研究室山田哲也先生に講演をお願いした。

本公演において, 大豆の祖先野生種で高タンパク質, 低脂質の特徴をもつツルマメと大豆系統の交雑種の研究によりタンパク質含量と脂質含量の間に高い負の相関関係があることを明らかにし, 脂質含量や農業形質の一部を犠牲にすることでこれまでよりも高タンパク質な大豆を育成出来る可能性を示された。従来品種より高いタンパク質含量を有する大豆品種の育成は, タンパク質摂取を目的とする大豆製品の利用用途拡大や生産性向上に貢献すると期待され

る。さらに, 人工マイクロ RNA (amiRNA) を用いて人為的に 7S グロブリン遺伝子を全て発現抑制した大豆では, 11S グロブリンタンパク質が増加することを示された。大豆の主要なタンパク質である 7S グロブリンと 11S グロブリンは全タンパク質の 50% 以上を占めており, 7S グロブリンあるいは 11S グロブリンの改変は, 大豆タンパク質の主要な特性であるゲル化特性に大きな影響を与えるため, 従来のゲル化特性を利用した大豆加工製品とは全く違った製品開発に繋がることを期待できる。

また, 大豆に含まれる生理機能性成分の中で α -トコフェロール (α -Toc) およびイソフラボンの含量に関して, 育種による成分含量の向上の試みに関しても紹介された。

トコフェロール (Toc) はビタミン E として知られる脂溶性の抗酸化物質であり, 天然には α -, β -, γ -, δ -Toc の 4 種の同族体があり, α -Toc の活性が最も高い。大豆油中の総トコフェロール含量は植物油脂の中でも比較的高いが α -Toc 含量は 5~7% と低いため¹⁸⁾, 大豆のビタミン E 活性はあまり高くない。このため大豆の α -Toc 含有率向上が育種目標の一つとなっている。本講演において, 大豆遺伝資源から得た高 α -Toc 含量交雑種の遺伝解析によって, 高 α -Toc 含量をもたらす原因遺伝子が, γ -Toc メチルトランスフェラーゼ (E.C.2.1.1.95) アイソザイムの一つの遺伝子 (γ -TMT3) の発現量と相関していることを明らかにされた¹⁹⁾。一方, 登熟時の温度が標準区に対し高温な区で α -Toc 含量が 1.5 倍から 5 倍程度にまで増加する品種が存在することを見出され²⁰⁾, 高ビタミン E 大豆の作出には, 遺伝的な改良に加え, 栽培環境の両面からアプローチが必要であることを示された。

次に高イソフラボン大豆作出の可能性に関しても述べられた。イソフラボンに関連する遺伝子解析の結果から, フラボノイド生合成経路を制御する MYB 転写因子遺伝子を過剰発現した場合にイソフラボンやフラボノールが増大することを見出され²¹⁾, 遺伝変異によるイソフラボン含量増加の可能性を示された。さらに栽培条件に関して, 標準的な栽培条件よりも比較的低温で栽培した場合, 3 倍程度イソフラボン含量が増加することも報告されていることから²²⁾, 遺伝的変異を持つ品種の選択並びに生産地域の気候に応じた栽培条件を考慮することでイソフラボンの含量を増加できる可能性のあることを示された。

以上のことから, 主要成分あるタンパク質の改変や栄養機能性成分の向上した大豆が育種改良により開発できることが示された。これらの新品種が普及し, それにより生み出される栄養機能性に優れた食品が, 日本のみならず世界の人々の健康と豊かな食生活に貢献することを期待している。

要 約

大豆は, 世界的に広範囲に栽培されている重要な植物資

源の一つである。特に“畑の肉”と言われるほどタンパク質含量が高く、40%程度を占めている。この大豆タンパク質には、人間にとって必要なアミノ酸20種類全てが含まれており、また、必須アミノ酸が9種類も豊富に含まれている。さらに大豆には、タンパク質だけでなく、オリゴ糖、イソフラボン、サポニン、ステロールやトコフェロール等様々な栄養機能性成分が含まれている。大豆の遺伝資源の中にはこれらの栄養機能性成分を多く蓄積するものが存在しており、これらの遺伝的変異を解明し積極的に活用することで、より栄養特性に優れた大豆を創出できる可能性がある。2019年日本食品科学工学会第66回大会の研究小集会大豆部会では、大豆の栄養機能性成分の遺伝変異による分子制御の機構解明と成分育種を進められている北海道大学農学研究院山田哲也先生に栄養機能性成分の向上を目指した育種改良の現状と展望を示していただいた。

文 献

- 1) アメリカ大豆輸出協会ホームページ, <http://ussoybean.jp/whats-us-soy/>
- 2) Manu, S.M., Halagalimath, S.P., Chandranath, H.T., and Biradar, B.D. (2020). Effect of nutrient levels and plant growth regulators on harvest index and economics of soybean (*Glycine max*). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, **9** (3), 890–897.
- 3) Samoto, M., Maebuchi, M., Miyazaki, C., Kugitani, H., Kohno, M., Hirotsuka, M., and Kito, M. (2007). Abundant proteins associated with lecithin in soy protein isolate. *Food Chem.*, **102**, 317–322.
- 4) Sirison, J., Matsumiya, K., Samoto, M., Hidaka, H., Kouno, M., and Matsumura, Y. (2017). Solubility of soy lipophilic proteins: comparison with other soy protein fractions. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **81**, 790–802.
- 5) Carroll, K.K. and Hamilton, R.M.G. (1975). Effects of dietary protein and carbohydrate on plasma cholesterol levels in relation to atherosclerosis. *J Food Sci.*, **40**, 18–23.
- 6) Sugano, M., Goto, S., Yamada, Y., Yoshida, K., Hashimoto, Y., Matsuo, T., and Kimoto, M. (1990). Cholesterol-lowering activity of various undigested fractions of soybean protein in rats. *J. Nutr.*, **120**, 977–985.
- 7) Ogawa, T., Gatchalian-Yee, M., Sugano, M., Hashimoto, Y., Matsuo, T., and Kimoto, M. (1992). Hypocholesterolemic effect of undigested fraction of soybean protein in rats fed no cholesterol. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **56**, 1845–1848.
- 8) Xiao, C.W. (2008). Health effects of soy protein and isoflavones in humans. *J. Nutr.*, **138** (6), 1244S–1249S.
- 9) 橘川俊明 (2008). 特定保健用食品の開発と安全性の取り組み. 微量栄養素研究, **25**, 36–40.
- 10) Kohno, M., Hirotsuka, M., and Kito, M. (2006). Decreases in serum triacylglycerol and visceral fat mediated by dietary soybean β -conglycinin. *J. Atheroscler. Thromb.*, **13** (5), 247–255.
- 11) 消費者庁ホームページ 特定保健用食品について 許可品目一覧, https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/foods_for_specified_health_uses/
- 12) Frank, A.A., Custer, L.J., Cerns, C.M., and Narala, K.K. (1994). Quantitation of phytoestrogens in legumes by HPLC. *J. Agric. Food Chem.*, **42** (9), 1905–1913.
- 13) Messina, M., Nagata, C., and Wu, A.H. (2009). Estimated Asian adult soy protein and isoflavone intakes. *Nutr. Cancer.*, **55**, 1–12.
- 14) Mruphy, P.A., Barua, K., and Hauck, C.C. (2002). Solvent extraction selection in the determination of isoflavones in soy foods. *J. Chromatogr. B. Analyt Technol. Biomed. Life Sci.*, **777** (1–2), 129–138.
- 15) Watanabe, S., Noboru, M., Yasunari, M., and Ideura, T. (2010). A cross-sectional study on the effects of long term very low protein diets in patients with chronic kidney disease. *J. Anti Aging Med.*, **7** (2), 7–13.
- 16) Taku, K., Umegaki, K., Sato, Y., Taki, Y., Endoh, K., and Watanabe, S. (2007). Soy isoflavones lower serum total and LDL cholesterol in humans: a meta-analysis of 11 randomized controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.*, **134**, 1148–1156.
- 17) Morton, M.A., Arisaka, O., Miyake, N., Morgan, L.D., and Evans, B.J. (2002). Phytoestrogen concentrations in serum from Japanese men and women over forty years of age. *J. Nutr.*, **132**, 3168–3171.
- 18) Bramley, P.M., Elmadfa, I., Kafatos, A., Kelly, F.J., Manios, Y., Roxborough, H.E., Schuch, W., Sheehy, P.J.A., and Wagner, K.H. (2000). Vitamin E-review. *J. Sci. Food Agric.*, **80**, 913–938.
- 19) Ujiie, A., Yamada, T., Fujimoto, K., Endo, Y., and Kitamura, K. (2005). Identification of soybean varieties with high levels of α -tocopherol content. *Breeding Science*, **55**, 123–125.
- 20) Yamada, T., Maruyama, K., and Abe, J. (2014). Molecular genetic study of temperature responsive γ -tocopherol methyltransferase genes in soybean seeds. *Soy Protein Res.*, **17**, 25–31.
- 21) Yamada, T. and Kitamura, K. (2010). Gene manipulation of the biosynthetic pathway for molecular breeding of soybean flavonoids. *Soy Protein Res.*, **13**, 37–42.
- 22) Tsukamoto, C., Shimada, S., Igita, K., Kudou, S., Kokubun, M., Okubo, K., and Kitamura, K. (1995). Factors affecting isoflavone content in soybean seeds: Changes in isoflavones, saponins, and composition of fatty acids at different temperatures during seed development. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 1184–1192.

(令和3年3月1日受理)