

大豆 - 自給率向上に向けた技術開発 - 第1章 品種開発 成分改変育種

誌名	大豆：自給率向上に向けた技術開発
ISSN	
著者名	農林水産省農林水産技術会議事務局
発行元	農林統計協会
巻/号	27号
巻号補足	
掲載ページ	p. 91-117
発行年月	2002年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



the potato leafhopper. J. Econ. Entomol. 56 : 895-897(1963)

- 73) 山中久明ほか. ハスモンヨトウの生命表と生物的死亡要因の評価. 応動昆.
16 : 205-214(1972)
- 74) 康沢敏弘・三田久男. ダイズ莢を加害するカメムシ類のマメ科植物種子による飼育. 中国農試報. E19 : 75-97(1981)

5. 成分改変育種

(1) リポキシゲナーゼ欠失育種

大豆の青臭みの主成分は n -ヘキサナールを中心とするアルデヒド類であると考えられている^{1, 15, 58, 59, 62, 70, 73)}。これらのアルデヒド類は大豆の種子中の3つのリポキシゲナーゼが、リノール酸などの不飽和脂肪酸を酸化することによって生じる。通常、大豆種子中には3種類のリポキシゲナーゼが含まれており^{6, 7, 9)}、それぞれ L-1、L-2、L-3と呼ばれている²⁾。これらの3つのリポキシゲナーゼは最適 pH、最適温度、分子量等の化学的性質が少しずつ異なり^{6, 62)}、SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動 (SDS-PAGE) によって容易に区別できる³⁷⁾。

リポキシゲナーゼは加熱することにより失活するので、食品加工の際には通常加熱処理が行われている。またエクストルーダーを用いた物理的な失活手法、阻害剤によるリポキシゲナーゼ活性の抑制なども考案されている^{42, 48)}。しかし、加工の過程で生じるアルデヒド類は閾値が低い上に、蛋白質と結合し、徐々に遊離してくる性質を持っており⁶⁰⁾、これらの処理法は完全な方法ではない。加工的に完全に青臭みを除去するには、溶媒処理や酵素処理⁶⁰⁾を行う必要があるが、コスト等の問題で一般化していない。

遺伝的にリポキシゲナーゼを欠失した品種の育成は1980年代から試みられ、これまでに大豆及びツルマメの遺伝資源の中から L-1欠失大豆、L-2欠失大豆及び L-3欠失大豆が見つかった^{9, 14, 28, 36, 38, 57)}。これらの欠失変異はそれぞれ単一の劣性遺伝子により支配されている^{29, 36, 38, 56)}。また、これらを交配して L-1・L-3欠失及び L-2・L-3欠失系統が育成された^{10, 41)}。しかし L-1と L-2の連鎖関係^{5, 18)}から、これまで交配育種では完全欠失系統は作出されていない。完全欠失系統は放射線突然変異を用いて初めて作出された¹⁷⁾。また、L-1・L-2欠失系統は完全欠失系統

と普通大豆を交配することにより得られ¹⁸⁾、現在では容易に全てのタイプのリポキシゲナーゼ欠失系統を育成することができる^{10, 13, 18, 34)}。

リポキシゲナーゼ欠失系統の選抜手法では、免疫学的手法¹²⁾、リノール酸溶液の吸光度の変化²²⁾、ゲル電気泳動 (SDS-PAGE) のアイソザイムバンドの有無³⁷⁾、カロテンの退色程度の測定³²⁾ 等^{8, 24, 27)} が考案されているが、須田らが考案したメチレンブルーとカロテンの退色の有無を組み合わせた簡易検定法^{64, 65)} が簡便で育種には向いている。

リポキシゲナーゼ部分欠失品種及び完全欠失品種はこれまでのところ農業特性には問題がなく^{17, 21, 39, 50, 55)}、全ての系統は正常に生育する。我が国ではこれまでに部分欠失の「ゆめゆたか」、完全欠失の「いちひめ」「エルスター」等が育成されており¹⁹⁾、海外でも完全欠失を含め次々に欠失品種が育成されている^{13, 34)}。

大豆種子リポキシゲナーゼの構造についてはアミノ酸配列などほぼその全容が明らかになっているが^{4, 63, 71)}、その役割についてははっきりしていない。リポキシゲナーゼは多くの生物に見いだされ、広く生物界に分布する酵素であり⁴⁴⁾、大豆でも種子以外に葉、胚軸等にも含まれていることが知られている^{30, 31, 33)}。大豆葉中のリポキシゲナーゼについては、耐病性、傷害耐性、発芽等との関連が報告^{3, 25, 30, 69)} されており、種子リポキシゲナーゼとは化学的性質や遺伝的性質が異なっている^{16, 45)} ことが知られている。大豆種子リポキシゲナーゼの植物学的な役割については、部分的な報告しか見あたらない^{23, 47, 61, 68)} が、完全欠失が見いだされたことにより、生理的に必須な酵素ではないと考えられる。

リポキシゲナーゼ欠失大豆の利用については、可否を含め多くの報告がなされているが^{35, 40, 43, 51, 54)}、豆乳デザートなど新たな大豆食品の開発や他の食材との混用による大豆の需要拡大^{20, 65, 67)} などに加え、青臭み生成への関与度合いが種類によって異なる^{11, 26, 46, 49, 52, 72)} ことに着目した従来食品の風味改良等その特性を活用した食品開発が期待されている。また大豆の貯蔵性向上⁴³⁾ や豆腐ゲルの強度向上⁵³⁾ などにリポキシゲナーゼ欠失大豆が役立つことが知られてきており、今後は用途に応じ、普通大豆、部分欠失大豆、完全欠失大豆を使い分けていくことになるだろう。

(独立行政法人農業技術研究機構 作物研究所 羽鹿 牧太)

文 献

- 1) Arai, S. et al. N-Hexanal and some volatile alcohols. Their distribution in row soybean tissue and formation in crude soy protein concentrate by lipoxygenase. *Agric. Biol. Chem.* 34 : 1420-1423 (1970)
- 2) Axelrod, B. et al. Lipoxygenase from soybean. *Methods Enzymol.* 71 : 441-451 (1981)
- 3) Bi, J. L. et al. Induced resistance in soybean to *Helicoverpa zea*. *J. Chem. Ecology.* 20(1) : 183-198 (1994)
- 4) Boyington, J. C. et al. Structure of soybean lipoxygenase-I. *Biochemical Society Transactions.* 21(3) : 744-748 (1993)
- 5) Carbone, R. et al. Frequency of recombination of loci L1 and L2 that encode for presence of lipoxygenase enzymes in soybean seeds. *Soybean Genet. Newsl.* 25 : 20 (1998)
- 6) Christopher, J. P. et al. Isolation of an enzyme of soybean lipoxygenase. *Biochim. Biophys. Acta.* 198 : 12-19 (1970)
- 7) Christopher, J. P. et al. Isolation of a third isozyme of soybean lipoxygenase. *Biochim. Biophys. Acta.* 284 : 54-62 (1972)
- 8) Cole, K. D. Separation of lipoxygenase and the major soybean proteins using aqueous two-phase extraction and poly (ethylene glycol) precipitation systems. *J. Agric. Food Chem.* 41(2) : 334-340 (1993)
- 9) Davies, C. S. and Nielsen, N. C. Genetic analysis of a null allele for lipoxygenase-2 in soybean. *Crop Sci.* 26 : 460-463 (1986)
- 10) Davies, C. S. and Nielsen, N. C. Registration of soybean germplasm that lacks lipoxygenase isozymes. *Crop Sci.* 27(2) : 370-371 (1987)
- 11) Davies, C. S. et al. Flavor improvement of soybean preparation by genetic removal of lipoxygenase-2. *Jaocs.* 64(10) : 1428-1433 (1987)
- 12) Evans, D. E. et al. Immunological identification of seed lipoxygenase genotypes in soybean. *Crop Sci.* 34(6) : 1529-1537 (1994)
- 13) Fehr, W. R. Breeding soybean for nutritional and food quality traits. *The Third*

- International Soybean Processing and Utilization Conference (proceedings) 19-22 (2000)
- 14) Fu, C. et al. Evaluation on quality of China's soybean germplasm resources quality. The Third International Soybean Processing and Utilization Conference (proceedings) 41-42 (2000)
 - 15) Fujimaki, M. et al. Studies on flavor components of soybeans. Part 1. Aliphatic carbonyl compounds. Agric. Biol. Chem. 29 : 855-863 (1965)
 - 16) Grayburn, W.S. et al. Soybean leaves contain multiple lipoxygenases. Plant Physiol. 95(4) : 1214-1218 (1991)
 - 17) Hajika, M. et al. A line lacking all the seed lipoxygenase isozymes in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) induced by gamma-ray irradiation. Jpn. J. Breed. 41 : 507-509 (1991)
 - 18) Hajika, M. et al. Genetic relationships among the genes for lipoxygenase -1, -2 and -3 isozymes in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. Jpn. J. Breed. 42 (4) : 787-792 (1992)
 - 19) 羽鹿牧太ほか. 大豆新品種「いちひめ」の特性. 九州農業研究. 59 : 19 (1997)
 - 20) 羽鹿牧太ほか. リポキシゲナーゼ完全欠失大豆「いちひめ」の育成と新用途開発. 研究ジャーナル. 20(4) : 23-30 (1997))
 - 21) 羽鹿牧太ほか. 大豆新品種の放射線育種. 放射線と産業. 73 : 15-20 (1997)
 - 22) Hammond, E. G. et al. Rapid screening techniques for lipoxygenases in soybean seeds. Crop Sci. 32(3) : 820-821 (1992)
 - 23) Harman, G. E. and Mattick, L. R. Association of lipid oxidation with seed aging and death. Nature 260 : 323-324 (1976)
 - 24) Heinisch, O. et al. Staining for soybean lipoxygenase activity in electrophoretic gels. Fett/Lipid 98(5) : 183-184 (1996)
 - 25) Hildebrand, D. F. et al. The effects of wounding and mite infestation on soybean leaf lipoxygenase levels. Zeitschrift fuer Naturforschung, Section C, Biosciences 44(7-8) : 655-659 (1989)
 - 26) Hildebrand, D. F. et al. Lipoxygenase 3 reduces hexanal production for soybean seed homogenates. J. Agric. Food Chem. 38(10) : 1934-1936 (1990)

- 27) Hildebrand, D. F. et al. Nondestructive rapid screening technique for lipoxygenase 1 in soybean seeds. *Soybean Genet. Newsl.* 18 : 312-313(1991)
- 28) Hildebrand, D. F. and Hymowitz, T. Two soybean genotypes lacking lipoxygenase-1. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 58 : 583-586(1981)
- 29) Hildebrand, D. F. and Hymowitz, T. Inheritance of lipoxygenase-1 activity in soybean seeds. *Crop Sci.* 22 : 851-853(1982)
- 30) Holman, R. T. Lipoxygenase activity and fat composition of germinating soybeans. *Arch. Biol. Biophys.* 17 : 459-466(1948)
- 31) Kato, T. et al. Appearance of new lipoxygenases in soybean cotyledons after germination and evidence for expression of a major new lipoxygenase gene. *Plant physiol.* 98(1) : 324-330(1992)
- 32) Kikuchi, A. and Kitamura, K. Simple and rapid carotene bleaching tests for the detection of lipoxygenase isozymes in soybean seeds. *Jpn. J. Breed.* 37(1) : 10-16(1987)
- 33) 菊池彰夫ほか. 大豆発芽種子におけるリポキシゲナーゼ活性の分布とその品種間差異. *日本作物学会東北支部会報.* 32 : 95-96(1989)
- 34) Kim, S. D. et al. Soybean Breeding for processing and utilization in Korea. The Third International Soybean Processing and Utilization Conference (proceedings) 23-28(2000)
- 35) King, J. M. et al. Oxidative and flavor stability of oil from lipoxygenase-free soybeans. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75 : 1121-1126(2000)
- 36) Kitamura, K. et al. Genetic analysis of a null-allele for lipoxygenase-3 in soybean seeds. *Crop Sci.* 23 : 924-927(1983)
- 37) Kitamura, K. Biochemical characterization of lipoxygenase lacking mutants, L-1-less, L-2-less and L-3-less soybeans. *Agric. Biol. Chem.* 48 : 2339-2346(1984)
- 38) Kitamura, K. et al. Inheritance of lipoxygenase-2 and genetic relationships among genes for lipoxygenase-1, 2 and -3 isozymes in soybean seeds. *Jpn. J. Breed.* 35 : 413-420(1985)
- 39) Kitamura, K. et al. Performance of near-isogenic lines lacking seed

- lipoygenases. Soybean Genet. Newsl. 14 : 109-112(1987)
- 40) 喜多村啓介. 大豆の加工適性向上及び新規用途開発育種. 農業技術. 45 (7) : 297-303(1990)
 - 41) 喜多村啓介. 青臭さのない大豆. 遺伝. 45(2) : 8-9(1991)
 - 42) Kovacs, E. et al. Effect of irradiation and dielectric heating on soybean ultrastructure, trypsininhibitor, and lipoygenase activities. Food Structure 10 (3) : 217-227(1991)
 - 43) Lambrecht, H. S. et al. Effect of soybean storage on tofu and soymilk production. J. Food Quality 19(3) : 189-202(1996)
 - 44) Mack, A. J. et al. Lipoygenase isozymes in Higher plant: Biochemical properties and physiological role. Isozymes:Current Topics in Biological and Medical Research 13 : 127-154(1987)
 - 45) Marengo, R. A. et al. Photosynthesis and leaf lipoygenase activity in soybean genotypes lacking seed lipoygenase isozymes. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal 7(1) : 21-25(1995)
 - 46) Matoba, T. et al. Lipoygenase-2 isozymes is responsible for generation of n-hexanal in soybean homogenate. J. Agric. Food. Chem. 33(5) : 852-855(1985)
 - 47) Mohri, S. et al. Physiological effects of soybean seed lipoygenases on insects. Agric. Biol. Chem. 54(9) : 2265-2270(1990)
 - 48) 門間美千子ほか. ホモジネート中のリポキシゲナーゼ活性に対する各種阻害剤の効果. 日本食品工業学会誌. 37(8) : 625-627(1990)
 - 49) Moreira, M. A. et al. Hexanal production and TBA number are reduced in soybean (Glycine max (L.) Merr.) seeds lacking lipoygenase isozymes 2 and 3. J. Agric. Food Chem. 41(1) : 103-108(1993)
 - 50) Narvel, J. M. et al. Agronomic and seed traits of soybean lines lacking seed lipoygenases. Crop Sci. 38(4) : 926-928(1998)
 - 51) Nishiba, Y. and Suda, I. Degradation of vitamin E, vitamin C, and lutein in soybean homogenate: a comparison of normal soybean and lipoygenase-lacking (triple-null) soybean. J. Agric. Food Chem. 46(9) : 3708-3712(1998)
 - 52) Nishiba, Y. et al. Hexanal accumulation and DETBA value in Homogenate of

- soybean seeds lacking two or three lipoxygenase isozymes. *J. Agric. Food. Chem.* 43(3) : 738-741(1995)
- 53) Obata, A. and Matsuura, M. Decrease in the gel strength of tofu caused by an enzyme reaction during soybean grinding and its control. *Biosci. Biotech. Biochem.* 57(4) : 542-545(1993)
- 54) 小幡明雄・松浦勝. 大豆磨砕におけるリポキシゲナーゼによる豆乳の色調変化. *日本食品科学工学会誌.* 44(11) : 768-773(1997)
- 55) Pfeiffer, T. W. et al. Agronomic performance of soybean lipoxygenase isolines. *Crop Sci.* 32(2) : 357-362(1992)
- 56) Pfeiffer, T. W. et al. Inheritance of lipoxygenase-1 allozyme in soybean. *Crop Sci.* 33(4) : 691-693(1993)
- 57) Qiu, L. et al. Evaluation and utilization of nutrient components of Chinese soybean germplasm. *The Third International Soybean Processing and Utilization Conference (proceedings)* 73-74(2000)
- 58) Rackis, J. J. et al. Flavor and flatulence factors in soybean protein products. *J. Agric. Food. Chem.* 18 : 977-982(1970)
- 59) Rackis, J. J. et al. Flavor problems of vegetable food proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 56 : 262-272(1979)
- 60) 佐々木隆造・千葉英雄. 大豆タンパク質の酵素的脱臭. *化学と生物* 21 : 536-543(1983)
- 61) Sekiya, J. et al. Changes in activities of lipoxygenase and hydroperoxide lyase during seed development of soybean. *Agric. Biol. Chem.* 50(2) : 521-522(1986)
- 62) Sessa, D. J. Biochemical aspects of lipid-derived flavors in legumes. *J. Agric. Food Chem.* 27 : 234-239(1979)
- 63) Shibata, D. et al. Primary structure of soybean lipoxygenase L-2. *J. Biol. Chem.* 263(14) : 6816-6821(1988)
- 64) Suda, I. et al. Simple and rapid method for the selective detection of individual lipoxygenase isozymes in soybean seeds. *J. Agric. Food. Chem.* 3(3) : 742-747(1995)

- 65) 須田郁夫編. 過酸化脂質の少ない健全性に優れた大豆加工食品の開発. 九州農業試験場. 138(1995)
- 66) 須田郁夫ほか. 大豆リポキシゲナーゼアイソザイムの簡易検出法. 総合農業の新技術. 8 : 70-74(1995)
- 67) 須田郁夫ほか. 栄養性・嗜好性・機能性に優れた食品素材となるリポキシゲナーゼ完全欠失大豆“九州111号”. 農業技術. 50(7) : 289-293(1995)
- 68) Trawatha, S.E. et al. Lipoxygenase activity and C6-aldehyde formation in comparison to germination and vigor during soybean seed development. Crop Sci. 33(6) : 1337-1344(1993)
- 69) Vaughn, S.F. and Gardner, H.W. Lipoxygenase-derived aldehydes inhibit fungi pathogenic on soybean. J. Chem. Ecology 19(10) : 2337-2345(1994)
- 70) Vick, B.A. and Zimmerman, D.C. Oxidative systems for modification of fatty acids : the lipoxygenase pathway. The biochemistry of plants: a comprehensive treatise (Academic Press, Orlando, FL.). 9 : 53-90(1987)
- 71) Wang, W.H. et al. Molecular basis of a null mutation in soybean lipoxygenase 2. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 91(13) : 3828-5832(1994)
- 72) Whitehead, I.M. et al. Industrial use of soybean lipoxygenase for the production of natural green note flavor compounds. Cereal Foods World 40(4) : 193-194, 196-197(1995)
- 73) Wolf, J.W. Lipoxygenase and flavor of soybean protein products. J. Agric. Food Chem. 23 : 136-141(1975)

(2) タンパク質組成の改良育種

大豆子実の貯蔵タンパク質は沈降法により 2S、7S、11S 及び 15S グロブリンに分類され⁶⁴⁾、また、免疫学的命名法ではグリシニン、 α -、 β -、 γ -コングリシニンに分類されている¹⁾。これらのうち、7S グロブリン (β -コングリシニン) と 11S グロブリン (グリシニン) が大豆種子貯蔵タンパク質の大部分を占め^{20, 70, 72)}、これら 2 成分が大豆タンパク質の機能特性に大きく影響している^{35, 39, 46, 48)}。11S グロブリンは 7S グロブリンに比べて多くの含硫アミノ酸 (システイン、メ

チオニン)を含有している^{4, 36, 53)}ため、これら2成分の比率によって大豆タンパク質の機能特性に差が生じる⁹⁾。一方、大豆タンパク質には含硫アミノ酸が少ないことが指摘され⁶²⁾、品種及び野生種の含硫アミノ酸量の評価^{7, 8, 22-25, 54)}、突然変異による高含硫アミノ酸含量大豆の作出が試みられた²⁵⁾。その後、大豆は成人にとって十分な栄養価をもつとされたものの、乳幼児にとっては含硫アミノ酸が制限アミノ酸となっており、11S グロブリン比率を高め含硫アミノ酸量強化を図ることは、栄養価向上の他、加工適性向上において意味がある³¹⁾。

7S グロブリンは α 、 α' 及び β サブユニットからなり^{59, 60)}、 α' サブユニットを欠失した「毛振」、 α 及び β サブユニット生成量を低下した「秣食豆公503」が遺伝資源から見出され²⁹⁾、これら変異の遺伝様式やメカニズムが明らかにされた^{30, 34, 37, 61)}。また、7S グロブリン低下系統では、その不足分を補うように11S グロブリン生成量が増加し、全体としてタンパク質含量は低下せず、含硫アミノ酸量は高まることが示された⁴¹⁾。そのため、高含硫アミノ酸及び高11S グロブリン化を図ることを目的に、7S グロブリンのサブユニットを欠失させることが試みられた^{27, 47, 55)}。その結果、放射線を用いた突然変異誘発によって、7S グロブリン欠失または激減変異^{27, 47)}及び α' 及び α サブユニット二重欠失変異が作出された⁵⁵⁾。このうち、7S グロブリン欠失または激減変異は生育異常等のために次世代種子は得られず^{27, 47)}、その欠失性に関する遺伝子構造が解析された^{13, 14)}。一方、 α' 及び α サブユニット二重欠失変異は正常に生育し⁵⁶⁾、高11S グロブリン化に伴い含硫アミノ酸量が増加していた⁵⁷⁾。さらに、7S グロブリンのサブユニットを全くもたない変異系統「QT-2」が佐賀県で収集されたツルマメから見出された¹⁰⁾。これまで得られていた欠失性が劣性遺伝子によって支配された^{30, 34, 56)}点と異なり、「QT-2」における7S グロブリン欠失性は一因子の優性遺伝子により生じていた¹¹⁾。

11S グロブリンは酸性ポリペプチド(A)と塩基性ポリペプチド(B)がジスルフィド結合で重合し²⁸⁾、 $A_{11}B_2$ 、 $A_{10}B_{11}$ 、 A_2B_{10} 、 $A_5A_5B_3$ 及び A_3B_4 サブユニットから構成されている⁵³⁾。これらをコードする遺伝子の同定及び構造や発現メカニズムが明らかにされ^{3, 5, 6, 19, 33, 52, 63, 65, 67)}、また、これらサブユニットの変異として、 $A_4A_5B_3$ 欠失型¹²⁾、 $A_{11}B_2$ 、 $A_{10}B_{11}$ 、 A_2B_{10} の同時欠失型²⁶⁾及び A_3B_4 欠失型³³⁾のすべてが作出、または、見出されている。強連鎖の関係にある $A_{11}B_2$ 、 $A_{10}B_{11}$ 、 A_2B_{10} サブ

ユニット（グループ I）、A₅A₄B₃サブユニット及び A₃B₄サブユニットの欠失性は、それぞれ劣性の独立遺伝子によって支配されていた^{2, 32, 40, 66)}。これらを母本とした交雑により様々な11S グロブリンサブユニット型の系統が育成され⁶⁷⁾、11S グロブリンサブユニットと豆腐加工適性との関係が明らかになりつつある⁶⁸⁾。

塩基性 7S グロブリン⁷¹⁾ は種子中に含まれる量は少ないが、含硫アミノ酸に富むことから、塩基性 7S グロブリン量を遺伝的に増大させ大豆の含硫アミノ酸含量を改良できる可能性が期待されている^{16, 17)}。これまでに、塩基性 7S グロブリン発現量に品種間差異があることなどが示されている¹⁸⁾。

大豆主要アレルゲンには 7S グロブリン α サブユニット (Gly m Bd 60K)、Gly m Bd 30K、Gly m Bd 28K があり⁴²⁾、ダニアレルゲンとの類似性等その特徴が明らかにされた^{16, 21, 43, 44, 49)}。大豆アレルギー患者から最も多く検出されるアレルゲン Gly m Bd 30K⁴²⁾ の欠失変異が大豆遺伝資源やその他の豆類に関して検索されたが、欠失変異は *Glycine max* 及び *G. soja* ではこれまでのところ見出されていない^{38, 69)}。しかし、7S グロブリンの α 及び α' サブユニット二重欠失系統「東北124号」では、主要アレルゲンの一つである 7S グロブリン α サブユニットが欠失している^{55, 56)} のみならず、大豆分離蛋白質からの Gly m Bd 30K 除去が比較的容易であることが示された⁵⁰⁾。また、この系統には Gly m Bd 28K も欠失していた⁵¹⁾ ことから、低アレルゲン大豆としての用途開発が進められている⁴⁵⁾。一方、Gly m Bd 28K 欠失型は *G. max* 及び *G. soja* に広く存在し、欠失性は劣性の単一遺伝子によって制御されていた⁵⁸⁾。

(独立行政法人農業技術研究機構 作物研究所 高橋 浩司)

文 献

- 1) Catsimpoolas, N. A note on proposal of an immunochemical system of reference and nomenclature for the major soybean globulins. *Cereal Chem.* 46 : 369-372 (1969)
- 2) Cho, T. J. et al. Inheritance and organization of glycinin genes in soybean. *Plant Cell.* 1(3) : 329-337 (1989)
- 3) Cho, T. J., N. C. Nielsen. The glycinin *Gy₃* gene from soybean. *Nucleic*

Acids Res. 17(11) : 4388 (1989)

- 4) Coates, J. B. et al. Characterization of the subunits of β -conglycinin. Arch. Biochem. Biophys. 243(1) : 184-194 (1985)
- 5) Diers, B. W. et al. Genetic mapping of the *Gy₄* and *Gy₅* glycinin genes in soybean and the analysis of a variant of *Gy₄*. Theor. Appl. Genet. 89 : 297-304 (1994)
- 6) Fukazawa, C. Genomic organization of glycinin storage protein of soybean (*Glycine max* L.). Research Journal of Food and Agriculture. 12(6) : 32-33 (1989)
- 7) 福井重郎ほか. ダイズ属植物の子実タンパク質含量とそのアミノ酸組成の亜属間および種間差異について. 育雑. 22(4) : 197-202 (1972)
- 8) 福井重郎. 野生ダイズの収集・保存とその育種的意義について. 育雑. 27(2) : 167-173 (1977)
- 9) Fukushima, D. Recent progress of soybean protein foods: Chemistry, Technology, and Nutrition. Food Reviews International. 7(3) : 323-351 (1991)
- 10) 羽鹿牧太ほか. ツルマメから得られた 7S タンパク質サブユニットの変異体. 育雑. 45 (別2) : 243 (1995)
- 11) Hajika, M. et al. A new genotype of 7 S globulin (β -conglycinin) detected in wild soybean (*Glycine soja* Sieb. et Zucc.). Jpn. J. Breed. 46(4) : 385-386 (1996)
- 12) Harada, K. et al. Genetic analysis of the most acidic 11S globulin subunit and related characters in soybean seeds. Jpn. J. Breed. 33(1) : 23-30 (1983)
- 13) Hayashi, M. et al. Characterization of a 7S globulin-deficient mutant of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Mol. Gen. Genet. 258(3) : 208-214 (1998)
- 14) Hayashi, M. et al. Identification of AFLP markers tightly linked to the gene for deficiency of the 7S globulin in soybean seed and characterization of abnormal phenotypes involved in the mutation. Breed. Sci. 50(2) : 123-129 (2000)
- 15) Helm, R. M. et al. Cellular and molecular characterization of a major soybean allergen. Int. Arch. Allergy and Immunol. 117 : 29-37 (1998)
- 16) 平野 久ほか. ダイズ塩基性 7S グロブリンの性質. 育雑. 39 (別2) : 146-

- 147 (1989)
- 17) 香川裕之ほか. ダイズ塩基性 7S グロブリン cDNA の塩基配列. 育雑. 40 (別1) : 172-173 (1990)
 - 18) 平野 久ほか. ダイズ塩基性 7S グロブリン発現量の品種間差異. 育雑. 46 (別2) : 260 (1996)
 - 19) Iida, A. et al. Positive and negative cis-regulatory regions in the soybean glycinin promoter identified by quantitative transient gene expression. Plant Cell Rep. 14(9) : 539-544 (1995)
 - 20) Iwabuchi, S., F. Yamauchi. Determination of glycinin and β -conglycinin in soybean proteins by immunological methods. J. Agric. Food Chem. 35(2) : 200-205 (1987)
 - 21) Ji, C., et al. Characterization of a 34-kDa soybean binding protein for the syringlides elicitors. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 95 : 3306-3311 (1998)
 - 22) 海妻矩彦, 福井重郎. ツルマメ (*Glycine soja* Sieb. and Zucc) の種子たんばく質および含硫アミノ酸量の系統間差異とその育種的意義. 育雑. 24(2) : 65-72 (1974)
 - 23) 海妻矩彦ほか. 大豆 (*Glycine max* Merrill) における蛋白質含量・含硫アミノ酸含量の品種間差異および遺伝力について. 育雑. 24(2) : 81-87 (1974)
 - 24) Kaizuma, N., S. Miura. Variations of seed protein percentage and sulfur-containing amino acid content among various leguminous species. Jpn. J. Breed. 24(3) : 125-132 (1974)
 - 25) 海妻矩彦. ダイズのタンパク質育種に関する基礎的研究. 岩大農報. 12 : 155-264 (1975)
 - 26) 海妻矩彦ほか. 放射線によって誘発された大豆種子タンパク質に関する遺伝的変異体について III. 11S グロブリン変異体の蛋白質含有量及び油脂含量. 育雑. 40 (別1) : 504-505 (1990)
 - 27) 北川さゆりほか. γ 線により誘発されたダイズ 7S タンパク質サブユニット欠失または激減形質及びその遺伝様式. 育雑. 41 (別2) : 460-461 (1991)
 - 28) Kitamura, K. et al. Subunit structure of soybean 11S globulin. Agric. Biol. Chem. 40(9) : 1837-1844 (1976)

- 29) Kitamura, K., N. Kaizuma. Mutant strains with low levels of subunits of 7S globulin in soybean (*Glycine max* Merr.) seed. Jpn. J. Breed. 31(4) : 353-359 (1981)
- 30) Kitamura, K. et al. Inheritance of null-alleles for the α' subunit of β -conglycinin and the A_2B_3 subunit of glycinin in soybean. Theor. Appl. Genet. 68 : 253-257 (1984)
- 31) 喜多村啓介, 原田久也. ダイズ種子蛋白質の遺伝変異と品種改良. 育種学最近の進歩. 30 : 26-38 (1989)
- 32) 喜多村啓介ほか. ダイズ11S 蛋白質サブユニット支配遺伝子の遺伝的關係. 育種. 43 (別2) : 159 (1993)
- 33) Kitamura, Y. et al. The complete nucleotide sequence of soybean glycinin A_2B_1 gene spanning to another glycinin gene A_1B_1 . Nucleic Acids Res. 18(14) : 4245 (1990)
- 34) 小林隆志, 喜多村啓介. 大豆蛋白質の質的改良に関する研究 II. 7S グロブリン含量低下形質の遺伝様式について. 育種. 39 (別2) : 218-219 (1989)
- 35) Kohyama, K., K. Nishinari. Rheological studies on the gelation process of soybean 7S and 11S proteins in the presence of glucono- δ -lactone. J. Agric. Food Chem. 41 : 8-14 (1993)
- 36) Koshiyama, I. Chemical and physical properties of a 7S protein in soybean globulins. Cereal Chem. 45 : 394-404 (1968)
- 37) Ladin, B. F. et al. Molecular characterization of a deletion mutation affecting the α' -subunit of β -conglycinin of soybean. J. Mol. Appl. Genet. 2(4) : 372-380 (1984)
- 38) 李 陶ほか. 豆類における大豆アレルゲンタンパク質 Bd 30K およびその遺伝子の分布. 育種. 45 (別1) : 268 (1995)
- 39) Nagano, T. et al. Dynamic viscoelastic study on the gelation properties of β -conglycinin-rich and glycinin-rich soybean protein isolates. J. Agric. Food Chem. 44(11) : 3484-3488 (1996)
- 40) Nielsen, N. C. et al. Characterization of the glycinin gene family in soybean. Plant Cell. 1(3) : 313-328 (1989)

- 41) Ogawa, T. et al. Genetic improvement of seed storage proteins using three variant alleles of 7S globulin subunits in soybean (*Glycine max* L.). Jpn. J. Breed. 39(2) : 137-147 (1989)
- 42) Ogawa, T. et al. Investigation of the IgE-binding proteins in soybean by immunoblotting with the sera of the patients with atopic dermatitis. J. Nutr. Sci. Vitaminol. 37 : 555-565 (1991)
- 43) Ogawa, T. et al. Identification of the soybean allergenic protein, *Gly m* Bd 30 K, with the soybean 34kDa oil-body-associated protein. Biosci. Biotech. Biochem. 57(6) : 1030-1033 (1993)
- 44) Ogawa, T. et al. α -subunit of β -conglycinin, an allergenic protein recognized by IgE antibodies of soybean-sensitive patients with atopic dermatitis. Biosci. Biotech. Biochem. 59(5) : 831-833 (1995)
- 45) Ogawa, T. et al. Development of hypoallergenic soybean products - Strategy for the reduction of allergenicity of soybean -. The Third International Soybean Processing and Utilization Conference. : 165-168 (2000)
- 46) 岡本 奨. 蛋白質皮膜と食品-湯葉の物性-. 化学と生物. 11(7) : 433-434 (1973)
- 47) Phan, T. H. et al. Specific inheritance of a mutant gene controlling α , β -subunits-null of β -conglycinin in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and observation of chloroplast ultrastructure of the mutant. Jpn. J. Breed. 46(1) : 53-59 (1996)
- 48) Saio, K. et al. Food processing of soybean 11S and 7S proteins. Part I. Effect of difference of protein components among soybean varieties on formation of tofu-gel. Agric. Biol. Chem. 33(9) : 1304-1308 (1969)
- 49) Samoto, M. et al. Simple and efficient procedure for removing the 34kDa allergenic soybean protein, *Gly m* I, from defatted soy milk. Biosci. Biotech. Biochem. 58(11) : 2123-2125 (1994)
- 50) Samoto, M. et al. Substantially Complete Removal of the 34kD Allergenic Soybean Protein, *Gly m* Bd 30K, from Soy Milk of a Mutant Lacking the α - and α' -Subunit of Conglycinin. Biosci. Biotech. Biochem. 60(11) : 1911-

1913 (1996)

- 51) Samoto, M. et al. Substantially complete removal of three major allergenic soybean protein (*Gly m* Bd 30K, *Gly m* Bd 28K and the α -subunit of conglycinin) from soy protein by using a mutant soybean, Tohoku 124. *Biosci. Biotech. Biochem.* 61(12) : 2148-2150 (1997)
- 52) Sims, T. L., R. B. Goldberg. The glycinin *Gy₁* gene from soybean. *Nucleic Acids Res.* 17(11) : 4386 (1989)
- 53) Staswick, P. E. et al. Glycinin composition of several perennial species related to soybean (*Glycine canescens*, *Glycine tomentella*, *Glycine tabacina*, *Glycine clandestina*). *Plant Physiol.* 72(4) : 1114-1118 (1983)
- 54) 平 春枝. 大豆の品種と粒重および含硫アミノ酸含量. *日作紀.* 45(3) : 381-393(1976)
- 55) Takahashi, K. et al. An induced mutant line lacking the α -subunit of β -conglycinin in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Breed. Sci.* 44(1) : 65-66 (1994)
- 56) Takahashi, K. et al. Inheritance of the α -subunit deficiency of β -conglycinin in soybean (*Glycine max* L. MERRILL) line induced by γ -ray irradiation. *Breed. Sci.* 46(3) : 251-255 (1996)
- 57) 高橋浩司ほか. 7S グロブリン α , α' 欠失大豆の蛋白質の特性. *東北農業研究.* 49 : 89-90 (1996)
- 58) 高橋浩司ほか. ダイズアレルギー *Gly m* Bd 28K の遺伝様式と遺伝資源における変異. *育種学研究.* 2 (別2) : 161 (2000)
- 59) Thanh, V. H., K. Shibasaki. Beta-conglycinin from soybean proteins. Isolation and immunological and physicochemical properties of the monomeric forms. *Biochim. Biophys. Acta.* 490(2) : 370-384 (1977)
- 60) Thanh, V. H., K. Shibasaki. Major proteins of soybean seeds. Reconstitution of β -conglycinin from its subunits. *J. Agric. Food Chem.* 26 : 695-698 (1978)
- 61) Tsukada, Y. et al. Genetic analysis of subunits of two major storage proteins (β -conglycinin and glycinin) in soybean seeds. *Jpn. J. Breed.* 36(4) : 390-400 (1986)

- 62) VanEtten, C. H. et al. Plant seeds as protein sources for food or feed. Evaluation based on amino acid composition of 379 species. J. Agr. Food Chem. 15 : 1077-1089 (1967)
- 63) Weng, W. M. et al. The glycinin A₃B₄ mRNA from wild soybean *Glycine soja* Sieb. et ZUCC. Plant physiol. 107(2) : 665-666 (1995)
- 64) Wolf, W. J., D. R. Briggs. Ultracentrifugal investigation on the effect of neutral salts on the extraction of soybean proteins. Arch. Biochem. Biophys. 63 : 40-49 (1956)
- 65) Xue, Z. T. et al. Characterization of a *Gy*₄ glycinin gene from soybean *Glycine max* cv. Forrest. Plant Mol. Biol. 18(5) : 897-908 (1992)
- 66) Yagasaki, K. et al. Inheritance of glycinin subunits and characterization of glycinin molecules lacking the subunits in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). Breed. Sci. 46(1) : 11-15 (1996)
- 67) Yagasaki, K. et al. Biochemical characterization of soybean protein consisting of different subunits of glycinin. J. Agric. Food Chem. 45 : 656-660 (1997)
- 68) Yagasaki, K. et al. Potential improvement of soymilk gelation properties by using soybeans with modified protein subunit compositions. Breed. Sci. 54(2) : 101-107 (2000)
- 69) Yaklich, R. W. et al. Analysis of the distribution of the major soybean seed allergens in a core collection of *Glycine max* accessions. Crop Sci. 39(5) : 1444-1447 (1999)
- 70) 山内文男. 食品タンパク質の科学—大豆タンパク質の構造と機能特性—. New Food Industry. 22 : 26-44 (1980)
- 71) Yamauchi, F. et al. Isolation and partial characterization of a salt -extractable globulin from soybean seeds. Agric. Biol. Chem. 48 : 645 (1984)
- 72) 山内文男. 大豆蛋白質の構造と食品特性. 日食工誌. 41 : 233-240 (1994)

(3) 配糖体成分の改良育種

サポニン及びイソフラボンを中心とする配糖体成分は、前述（リポキシゲナー

ゼ欠失育種の項参照)の青臭み発生因子であるリポキシゲナーゼに加えて、飲用豆乳や豆乳ヨーグルト等の加工利用上大きな問題となる収斂性の不快味発生の原因である^{10, 12, 22)}が、その反面、抗腫瘍性等の薬理効果を持つ様々な生体防御機能を有している^{1, 2, 5, 7, 24, 40)}。そのため、これらの配糖体成分の改良にとって、各成分の呈味性と機能性に関する詳細な基礎的知見が重要となる。

配糖体成分の中で最も不快味が強いとされるのはソヤサポゲノール A をアグリコンとするグループ A アセチルサポニンであり^{13, 17, 29, 35)}、胚軸中にもみ存在し³⁰⁾、Aa ~ Af の 6 種類のタイプが同定されている³²⁾。ソヤサポゲノール B をアグリコンとする DDMP サポニン及びその分解産物は、胚軸及び子葉中に存在し^{21, 34)}、不快味はそれほど強くなく、逆に、AIDS ウイルス感染阻害²⁸⁾や EBV 活性化阻害¹⁹⁾等の生体防御機能が報告されている。グループ A アセチルサポニンは遺伝的に安定した形質で、その組成及び分布は栽培大豆と野生大豆で大きく異なる^{31, 33, 37)}。栽培大豆で一般的に見られる Aa と Ab は遺伝的な共優性関係 (Sg-1^a, Sg-1^b) にあり³¹⁾、グループ A アセチルサポニンを欠失した変異体「A-b(F)」は対立する単一劣性遺伝子 (sg-1) によって支配されている¹⁴⁾。野生大豆から見出された「Col/熊本/1983/芹口-1」及び「Col/北海道/1991/島本-9」は、各々、グループ A アセチルサポニン及びソヤサポゲノール A 自身を欠失した変異体である^{36, 39)}。現在、これらの変異体を利用した不快味サポニンの除去と機能性サポニンの増加を目標とした大豆品種の開発が進められている¹⁶⁾。

一方、イソフラボンの主要成分はダイジン、ゲニスチンであり²⁵⁾、主に大豆生体内では不快味が最も強いマロニル基を付加した型で存在し²⁰⁾、 β -グルコシダーゼの作用によって容易にダイゼイン、ゲニステインとなり、咽喉刺激性が増大する^{22, 23)}。しかしながら、これらのイソフラボンについては、ゲニステインのチロシンキナーゼ活性阻害作用³⁾を含む多くの抗発癌作用^{1, 2, 5, 7, 24, 40)}、抗酸化活性²⁷⁾、フィトエストロゲン作用^{1, 9)}、抗菌活性²⁵⁾等の生理活性に関する報告がなされ、生体防御機能の観点から注目されている。子葉中のイソフラボン含量は栽培年次、栽培場所などの環境条件によって大きく変動する^{8, 41)}。九州地方で標準播栽培された夏大豆は晩播栽培されたものと比べてイソフラボン含量が低く¹⁸⁾、ファイトトロンを用いた試験により登熟期の高温条件がイソフラボン含量を低下させる大きな要因であることが明らかにされている³⁸⁾。イソフラボン含量に関す

る遺伝資源探索も進められ、より低緯度地域で栽培されたブラジル品種で品種間差異が認められる⁶⁾等、栽培年次、栽培場所等の環境変異のみならず、遺伝子型及びそれらの交互作用があることが示されている^{4,11)}。現在、イソフラボン含量に関する遺伝様式の検討がなされ、遺伝的制御の可能性が明らかにされつつある¹⁵⁾。

(独立行政法人 国際農林水産業研究センター 菊池 彰夫)

文 献

- 1) Adlercreutz, H. et al. Determination of urinary ligans and phytoestrogen metabolites, potential antiestrogens and anticarcinogens, in urine of women on various habitual diets. *J. Steroid Biochem.* 25 : 791-797(1986)
- 2) Adlercreutz, H. et al. Urinary excretion of lignans and isoflavonoid phytoestrogens in Japanese men and women consuming a traditional Japanese diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 54 : 1093-1100(1991)
- 3) Akiyama, T. et al. Genistein, a specific inhibitor of tyrosine protein kinases. *J. Biol. Chem.* 262 : 5592-5595(1987)
- 4) Aussenac, T. et al. Quantification of isoflavones by capillary zone electrophoresis in soybean seeds: effects of variety and environment. *Am. J. Clin. Nutr.* 68 : 1480-1485(1998)
- 5) Caragay, A. B. Cancer preventive foods and ingredients. *Food Technol.* 4 : 65-68(1992)
- 6) Carrao-Panizzi, M. C. and K. Kitamura. Isoflavone content in Brazilian soybean cultivars. *Breed. Sci.* 45 : 295-300(1995)
- 7) Coward, L. et al. Genistein, daidzein, and their β -glycoside conjugates: antitumor isoflavone in soybean foods from American and Asian diets. *J. Agric. Chem.* 41 : 1961-1967(1993)
- 8) Eldridge, A. C. and W. F. Kwolek. Soybean isoflavones: effect of the environment and variety on composition. *J. Agric. Food Chem.* 31 : 394-396(1983)

- 9) Farmakalidis, E. et al. Oestrogenic potency of genistin and daidzin in mice. *Food Chem. Toxic.* 23 : 741-745 (1985)
- 10) Ha, E. Y. W. et al. Isoflavone aglucones and volatile organic compounds in soybeans: effects of soaking treatments. *J. Food Sci.* 57 : 414-417 (1992)
- 11) Hoeck, J. A. et al. Influence of genotype and environment on isoflavone contents of soybean. *Crop Sci.* 40 : 48-51 (2000)
- 12) Huang, A. S. et al. Characterization of the nonvolatile minor constituents responsible for the objectionable taste of defatted soybean flour. *J. Food Sci.* 47 : 19-23 (1981)
- 13) Iijima, M. et al. Effect of glycosides like saponin on vegetable food processing. Part II. Undesirable taste of glycosides like saponin. *Proc. Intl. Symp. on New Technology of Vegetable Proteins, Oils, and Starch Processing. Beijing* 2 : 109-123 (1987)
- 14) Kikuchi, A. et al. Inheritance and characterization of a null allele for group A acetyl saponins found in a mutant soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Breed. Sci.* 49 : 167-171 (1999)
- 15) Kikuchi, A. et al. Genetic diversity and inheritance of isoflavone contents in soybean seeds. *Proc. 3rd Intl. soybean processing and utilization conf.* 59 (2000)
- 16) 菊池彰夫ほか. ダイズサポニンの質的改良に関する研究 2. 異なるグループ A サポニンの遺伝的関係について. *育雑.* 44(別1) : 206 (1994)
- 17) Kitagawa, I. et al. Saponin and sapogenol. XLII. Structures of acetyl-soyasaponins A₁, A₂, and A₃, astringent partially acetylated bisdesmosides of soyasapogenol A, from American soybean, the seeds of *Glycine max* Merrill. *Chem. Pharm. Bull.* 36 : 2819-2828 (1988)
- 18) Kitamura, K. et al. Low isoflavone content in some early maturing cultivars, so-called "summer-type soybean" (*Glycine max* (L.) Merrill). *Jpn. J. Breed.* 41 : 651-654 (1991)
- 19) Konoshima, T. and M. Kozuka. Constitutions of Leguminous plants, XIII. New triterpenoid saponins from *Wisteria brachybotrys*. *J. Nat. Prod.* 54 : 830-836 (1991)

- 20) Kudou, S. et al. Malonyl isoflavone glycosides in soybean seeds (*Glycine max* (L) Merrill). *Agric. Biol. Chem.* 55 : 2227-2233(1991)
- 21) Kudou, S. et al. Isolation and structural elucidation of DDMP-conjugated soyasaponins as genuine saponins from soybean seeds. *Biosci. Biotech. Biochem.* 57 : 546-550(1993)
- 22) Matsuura, M. et al. Objectionable flavor of soymilk developed during the soaking of soybeans and its control. *J. Food Sci.* 54 : 602-605(1989)
- 23) Matsuura, M. and A. Obata. α -glucosidases from soybeans hydrolyze daidzin and genistin. *J. Food Sci.* 58 : 144-147(1993)
- 24) Messina, M. and S. Barnes. The role of soy products in reducing risk of cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 83 : 541-546(1991)
- 25) Murphy, P. A. Phytoestrogen content of processed soybean products. *Food Technol.* 36 : 60-64(1982)
- 26) Naim, M. et al. Soybean isoflavones. Characterization, determination and antifungal activity. *J. Agric. Food Chem.* 22 : 806-810(1974)
- 27) Naim, M. et al. Antioxidative and antihemolytic activity of soybean isoflavones. *J. Agric. Food Chem.* 22 : 806-811(1976)
- 28) Nakashima, H. et al. Inhibitory effect of glycosides like saponin from soybean on the infectivity of HIV in vitro. *AIDS* 3 : 655-658(1989)
- 29) Okubo, K. et al. Components responsible for the undesirable taste of soybean seeds. *Biosci. Biotech. Biochem.* 56 : 99-103(1992)
- 30) Shimoyamada, M. et al. Distribution of saponin constituents in some varieties of soybean plant. *Agric. Biol. Chem.* 54 : 77-81(1990)
- 31) Shiraiwa, M. et al. Inheritance of "group A saponin" in soybean seed. *Agric. Biol. Chem.* 54 : 1347-1352(1990)
- 32) Shiraiwa, M. et al. Composition and structure of "group A saponin" in soybean seed. *Agric. Biol. Chem.* 55 : 315-322(1991)
- 33) Shiraiwa, M. et al. Composition and content of saponins in soybean seed according to variety, cultivation year and maturity. *Agric. Biol. Chem.* 55 : 323-331(1991)

- 34) Shiraiwa, M. et al. Composition and structure of "group B saponin" in soybean seed. *Agric. Biol. Chem.* 55 : 911-917(1991)
- 35) Taniyama, T. et al. Saponin and sapogenol. XLIII. Acetyl-soyasaponins A₄, A₅ and A₆, new astringent bisdesmosides of soyasapogenol A, from Japanese soybean, the seeds of *Glycine max* Merrill. *Chem. Pharm. Bull.* 36 : 2829-2839(1988)
- 36) Tsukamoto, C. et al. Group A acetyl saponin-deficient mutant from the wild soybean. *Phytochemistry* 31 : 4139-4142(1992)
- 37) Tsukamoto, C. et al. Genetic and chemical polymorphisms of saponins in soybean seed. *Phytochemistry* 34 : 1351-1356(1993)
- 38) Tsukamoto, C. et al. 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 (1995)
- 39) 塚本知玄ほか. 大豆種子サポニン成分多型性の地理的頻度分布並びにソヤサポゲノール A 欠失変異体の同定. *育雑.* 43(別2) : 161(1993)
- 40) Xu, X. et al. Daidzein is a more bioavailable soymilk isoflavone than is genistein in adult women. *J. of Nutrition* 124 : 825-832(1994)
- 41) Wang, H. and P. A. Murphy. Isoflavone composition of American and Japanese soybeans in Iowa: effects of variety, crop year, and location. *J. Agric. Food Chem.* 42 : 1674-1677(1994)

(4) 高タンパク質含量育種

大豆が他作物に比較して良質のタンパク質を多量に子実を集積することや、タンパク質含有率の高い品種は国産大豆の主要な用途の一つである豆腐の収率や凝固性等の加工適性が優れる^{24, 33)}ことから高タンパク質は国産大豆品種の主要な育種目標の一つとなってきた。

タンパク質含有率の変動は品種からの寄与率が大きく、品種間差以外に、栽培された地域³⁵⁾、土壌^{32, 34)}、栽植様式³⁷⁾、施肥条件^{19, 23, 41)}、播種期^{20, 21, 38, 40)}生育温度条

件¹⁴⁾等の種々の栽培条件^{27,36)}や環境条件によりっても認められるが、その幅はあまり大きくなく、一定の関係が認められない場合が多い。

我が国が所有する大豆遺伝資源の分析結果では⁴²⁻⁴⁵⁾、タンパク質含有率は26%から56%に分布し、総平均は41.6%であった。取り寄せ地がアジアの品種・系統では、中国が低く、日本、韓国が中位、タイ、台湾、インドネシア、ネパール、インド等低緯度地帯で高かった。国内からの品種・系統では近畿、九州に高いものが多かった。極めて低タンパク質な系統は東山89号、東山90号、T201等根粒非着生系統である。接ぎ木試験ではタンパク質含有率は基本的には地上部特に莢の部分の品種特性に支配されているが、根粒非着生種が台木品種となる場合は台木品種の養分供給特性が現れ低タンパク質となる³¹⁾。

Glycine 属の中ではツルマメと栽培種ダイズが高タンパク性を示し、高タンパク質なマメ類の中でも含硫アミノ酸含有率が高い^{1, 8, 9, 10)}。ツルマメにはダイズ以上に高タンパク質のものが存在し、ダイズとの交配も比較的容易なことより^{7, 11)}、ツルマメはタンパク質組成や配糖体成分の改変とともに、高タンパク性においても重要な遺伝資源として注目され¹⁰⁾、収集されている。

我が国の品種のなでは九州の夏大豆品種に高いものがあることが知られており、夏ダイズの指定試験地であった佐賀農業試験場で育成された高タンパク質品種としては「ヒゴムスメ」があり、育成系統としては「西海20号」がある¹⁵⁻¹⁷⁾。東北農業試験場で「西海20号」の高タンパク性を導入した系統に「東北74号」「東北100号」がある³⁾。

タンパク質含有率は量的形質として、ポリジーンに支配されていると考えられていたが、遺伝力が高く²⁾、少数個の主働遺伝子に支配されていると推定され^{5, 39)}、遺伝様式の解析から関与する遺伝子数は2～3個であると推定されている。タンパク質含有率の遺伝力は高いことから雑種初期からの選抜が有効である。しかしながら、タンパク質含有率は一般的には収量と負の相関があるとされる。特に高タンパク質系統は収量性が低い傾向があり、奨励品種となる例は少なく、この関係の克服が課題とされている。したがって、雑種初期からの強選抜をさけ、F₂以降で収量性とともに向向をはかったほうが良いと考えられている^{2, 29, 30)}。

現在は、極端な高タンパク質より、タンパク質含有率が比較的高く、豆腐等の加工適性が高く、多収でタンパク質収量の向上を目標に育成が進められている⁴⁾。

我が国で作付面積が上位の「フクユタカ」、「エンレイ」はこれらの条件を満たしている²⁶⁾。

タンパク質含有率の測定方法として、古くからケルダール法による全窒素含有率にタンパク質換算係数を乗じた値が用いられ、現在でも最も信頼できる方法として標準的に用いられている。なお、タンパク質換算係数は食品分野ではダイズ用に個別求められた5.71が用いられ⁵⁰⁾、科学的にも正しいが、育種・栽培分野では米国で使用され¹⁸⁾、商取引でも用いられるため、一般的な食品の係数である6.25が使用されている⁴⁹⁾。過去5.71が使用された時代もあるので、いずれのタンパク質換算係数が用いられているか注意が必要である。

育成現場では過去には子実の比重差を利用した簡易選抜法が実施された²²⁾。これは、高脂肪品種は比重が軽いこととタンパク質含有率が脂肪含有率と負の相関がある⁴⁶⁾ことを利用したものである。また、タンパク質の簡易評価法の開発が行われ、ビューレット法等も用いられたが、近年近赤外分析法が導入されており^{6, 26, 48)}、化学分析の煩雑性、廃液問題等から解放され、評価の能率化が図られている。近赤外分析法の特徴である非破壊で、1粒づつごとの評価方法も開発されているが²⁸⁾、タンパク含有率は個体内の変異が大きく、正規分布に近い分布をする¹²⁾。選抜に使用するためには個体全体を評価する必要がある。このため、一般的には精度が高い粉碎試料を測定する方法がとられている⁴⁸⁾。しかしながら、油分の含量が高い大豆子実では粉碎作業中に粉碎機に粉碎試料の付着が起きやすく、清掃作業に時間を要する場合がしばしばあり、能率的で粉碎精度の高い粉碎機の開発が必要である。今後は、個体単位で子実を粒のまま非破壊で計測できる全粒測定法の確立が期待される⁴⁷⁾。

(独立行政法人農業技術研究機構 中央農業総合研究センター北陸研究センター 田渕 公清)

文 献

- 1) 福井重郎ほか. ダイズ属植物の子実タンパク質含量とそのアミノ酸組成の亜属間および種間差異について. 育雑. 22(4): 197-202 (1972)
- 2) 後藤寛治・佐々木紘一. 大豆の雑種初期世代における成分検定について. 北海道立農試彙報. 15: 1-9(1965)

- 3) 橋本鋼二ほか. 高タンパク大豆系統-東北74号-. 東北農試研究資料. 5 : 59-61 (1986)
- 4) 洪 殷憲・小島睦男. 大豆におけるたんぱく質収量の増大に関する研究. 晩播栽培における大豆品種の乾物生産. 日作紀. 41 : 502-508 (1972)
- 5) 石毛光雄. ダイズ種子タンパク質含有率の遺伝変異とその生物計量学的解析. 農技研報. D32 : 45-92 (1981)
- 6) 岩元睦夫ほか. 近赤外分析法入門. 幸書房 (1994)
- 7) 海妻矩彦ほか. 大豆における蛋白質含量・含有アミノ酸含量の品種間差および遺伝力について. 育雑. 24(2) : 81-87 (1974)
- 8) 海妻矩彦・福井重郎. ツルマメ (*Glycine soja* Sieb. And Zucc.) の種子たんぱく質および含硫アミノ酸含量の系統間差異とその育種的意義. 系統間差異とその育種的意義. 育雑. 24(2) : 65-72 (1974)
- 9) Kaizuma, N. and S. Miura Variations of seed protein percentage and sulfur-containing amino acid content among various leguminous species. Jpn J. Breed. 24(3) : 125-132 (1974)
- 10) 海妻矩彦. ダイズのたんぱく質育種に関する基礎的研究. 岩手大学農学部報. 12 : (3) 155-262 (1975)
- 11) 海妻矩彦ほか. ダイズとツルマメの種間交雑による高たんぱく質ダイズの育成-反復戻し交雑法の必要性-. 岩手大学農学部報. 15 : (2) 11-28 (1980)
- 12) 菊地彰夫ほか. ダイズの蛋白質含有率の変異に関する研究 (第1報). ダイズ品種における個体内変異. 日作東北支報. 37 : 65-66 (1994)
- 13) 小島久恵ほか. ダイズ品種フクユタカの子実たん白質の及ぼす栽培条件の影響. 日作九州支報. 52 : 55-58 (1985)
- 14) 昆野昭晨. ダイズの子実生産機構の生理学的研究. 農技研報. D27 : 139-295 (1976)
- 15) 熊本 司ほか. 夏大豆新品種「ヒゴムスメ」. 佐賀農試研報. 7 : 119-140 (1966)
- 16) 熊本 司. 大豆の高タンパク品種の育成に関する研究. 大豆の育種. ラティス : 98-147 (1968)
- 17) 熊本 司. 高たんぱく夏大豆の育種法に関する研究. 佐賀農試研報. 15 : 3-

57(1975)

- 18) Lalph, H. Lane. Cereal Foods. AOAC Official Methods of Analysis 15th edition. 777-801(1990)
- 19) 中野 寛ほか. 大豆の窒素追肥技術(第2報). 施肥量と施肥位置の効果. 日作紀. 56(3): 329-336 (1987)
- 20) 中村茂樹ほか. 大豆子実蛋白含有率の播種期による変動及び変動要因. 九農試報. 26(3): 221-231 (1990)
- 21) 中村茂樹ほか. 大豆品種の収穫時期と子実成分含量及び品質の変動. 東北農業研究. 48: 123-124 (1995)
- 22) 新田一彦. 大豆子実の脂肪, 蛋白質含量に関する研究. 北海道農試彙報. 63: 64-69(1952)
- 23) 新田一彦. 大豆の脂肪, 蛋白質含量及び要素価に関する研究(続報). 北海道農試彙報. 65: 65-68(1953)
- 24) 小川育男・斎尾恭子. 国産大豆の蛋白凝固性, 溶解性などの加工適性. 食総研報. 51: 15-22 (1987)
- 25) 大庭寅雄ほか. ダイズ新品種「フクユタカ」について. 九州農試報. 22(3): 405-432 (1982)
- 26) Saio, K. et al. Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of protein, oil and moisture in Japanese soybeans. Rep. Natl. Food Res. Inst. 51: 11-14 (1987)
- 27) 斎藤祐二・金森哲夫. 大豆子実成分の変動要因の解析. 四国農試報. 58: 1-43 (1994)
- 28) 田淵公清ほか. ダイズの蛋白質含有率の変異に関する研究(第2報). 近赤外分光分析法を用いた1粒分析法の検討. 日作東北支報. 37: 67-68 (1994)
- 29) 田淵公清ほか. ダイズの蛋白質含有率の変異に関する研究(第3報). 高蛋白質系統と多収性品種の交雑後代における蛋白質含有率. 日作東北支報. 38: 87-89 (1995)
- 30) 田淵公清ほか. ダイズの蛋白質含有率の変異に関する研究(第4報). 高蛋白質系統と多収性品種の交雑系統のF8世代における蛋白質含有率と収量性. 日作東北支報. 39: 93-94 (1996)

- 31) 田淵公清. ダイズの物質生産におよぼす地下部の影響. 農技研報. D32 : 93-113 (1981)
- 32) 平 春枝ほか. 国産大豆の品質 (第2報). 普通畑と水田転換畑栽培大豆子実の化学成分組成および加工適性の差異. 食総研報. 41 : 14-33 (1982)
- 33) 平 春枝. 国産大豆の品質 (第3報). 物理的性状. 化学成分組成および加工適性の相互関係. 食総研報. 42 : 27-39 (1983)
- 34) 平 春枝・国分喜治郎. 国産大豆の品質 (第5報). 普通畑および水田転換畑栽培における生態型品種群別大豆子実の化学成分含量. 食総研報. 44 : 62-73 (1984)
- 35) 平 春枝. 国産大豆の品質 (第6報). 全国産大豆の品質. 成分. 加工適性の変動と地域間. 品種間差異. 食総研報. 45 : 55-62 (1984)
- 36) 平 春枝・星野四郎. 国産大豆の品質 (第8報). 晩播. 密植栽培大豆子実の化学成分組成および加工適性. 食総研報. 46 : 137-144 (1985)
- 37) 平 春枝ほか. 国産大豆の品質 (第11報). 播種. 培土. 追肥の各栽培法が百粒重および一般成分組成におよぼす影響. 食総研報. 48 : 28-35 (1986)
- 38) 平 春枝ほか. 国産大豆の品質 (第13報). 同一生態型大豆品種の作期移動による粒重および化学成分組成の変化. 食総研報. 50 : 22-29 (1987)
- 39) 高木胖・岸川英利. ダイズ品種における蛋白質含量の遺伝. 佐賀大農学部彙報. 64 : 1-10 (1988)
- 40) 高橋浩司・中村茂樹. 大豆品種. 系統の粗蛋白質含量に対する栽培条件の影響. 東北農業研究. 47 : 161-162 (1994)
- 41) 渡辺 巖ほか. 大豆の窒素追肥技術 (第1報). 登熟初期の追肥が収量, 収量構成要素および子実の蛋白含有率におよぼす影響. 日作紀. 52 (3) : 291-298 (1983)
- 42) 渡辺 巖・長沢次男. 大豆遺伝資源にみる子実成分の変異幅 (予報). 東北農業研究. 41 : 105-106 (1988)
- 43) 渡辺 巖ほか. 我が国が所有するダイズ遺伝資源の子実成分と子実の外観形質. 東北農試研究資料. 9 : 21-131 (1989)
- 44) 渡辺 巖・長沢次男. 我が国が所有するダイズ遺伝資源の外観的特性と化学成分含有率 (1). 粒大, 種皮色, 臍色及び化学成分含有率の頻度分布と取

り寄せ地別にみた特色. 日作紀. 59 (4) : 649-660 (1990)

- 45) 渡辺 巖・長沢次男. 我が国が所有するダイズ遺伝資源の外観的特性と化学成分含有率 (2). タンパク質・脂肪・炭水化物含有率間の相関. 日作紀. 59 (4) : 661-666 (1990)
- 46) 山内富士雄. 大豆品種のたんぱく質及び脂肪含量. 北海道農試研報. 119 : 109-124
- 47) 山田直弘ほか. 回転試料台を用いた近赤外分光法によるダイズ粗蛋白質含有率の全粒分析. 北陸作物学会報. 33 : 89-91 (1998)
- 48) 農林水産技術会議事務局・農業研究センター編. 近赤外法による穀類タンパク質の簡易定量. (1995)
- 49) 社団法人農林水産技術情報協会. 成分の測定法. 大豆の成分審査技術の確立. 18-24 (1991)
- 50) 科学技術資源調査会. 四訂日本食品成分表. (1998)

6. 有色および極小粒・小粒納豆用育種

(1) 有色大豆育種

種皮が黒、緑など黄色以外の色である有色大豆は伝統食品の素材として全国で栽培されているが、概して栽培面積が小さい。そのため小規模かつ細々と在来種の比較試験、純系分離育種、近年では人工交配育種などにより品種開発が行われてきた。

ア 黒大豆

種皮が黒い黒大豆は主として煮豆用に用いられる。粒形は一般的な球形の他に、扁平な「雁喰豆」⁸⁾がある。

京都府から兵庫県を中心に近畿地方で栽培されている「丹波黒」は日本最大の大豆であり、その歴史は古い。明治から大正にかけて「川北黒大豆」、「波部黒」という在来種がつくられていたが、1941年に「波部黒」の系統比較により「丹波黒」を選定し、兵庫県の奨励品種に決定した。このころの「丹波黒」は百粒重40g程度であったものが、次第に大粒化し、1990年代には85gにまで達した。