

植物蛋白質利用の方向性

山本 和貴

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門

世界の食料事情

世界人口の増加が進む中、糖質源・脂質源としての農作物及び蛋白質源としての畜産物を十分量確保する必要がある。魚肉・畜肉食が増加し、動物由来蛋白質の供給不足が危惧される一方で、世界の人口増加、都市化等に伴い、蛋白質の需要は益々増加し、2050年の世界の穀物及び蛋白質の必要量は、2005年対比で約2倍増加が必要と予測されている [1]。

一方、食料確保に関しては、国際連合が定めたSDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標) との調和が求められている。動物由来食品の環境影響については、動物蛋白質の代表である牛肉、豚肉等の生産に関連して、土地利用、水利用、地球温暖化へ影響する温室ガス排出量すなわち蛋白質 1 kg あたりの二酸化炭素排出量が増加する問題等が指摘されている [2]。とりわけ、牛肉生産が最大の影響因子であり、放牧地としての土地占有、飲料用途及び飼料作物用灌漑用途の水消費、腸内醗酵及び森林破壊を介した温室ガス放出が取り沙汰されている [3]。畜産における環境負荷の問題もあり、蛋白質を家畜以外から摂取するため、植物蛋白質等の利用が脚光を浴びている。

動物蛋白質に代わる肉類似素材として、各種のミートアナログ (meat analog) が着目され、植物、糸状菌、昆虫に由来する蛋白質、培養肉の利用開発が積極的に進められ、肉代替物 (meat substitute) としての利用が検討されている。近年最も着目されているのは、植物蛋白質であり、世界の蛋白質供給を賄う肉代替物としての役割を果たすと期待されている。とりわけ利用

が進んでいる大豆については、トウモロコシと共に、2050年での食料需給における必要量を、生産量が上回ると予測されている。イネ、コムギは、必要量を生産量が下回る予測である。大豆生産量の増加は、1996年を屈曲点として加速したが、これは、遺伝子組換え大豆の生産量が、1996年以降に飛躍的に増え、世界全体の7割を超えるようになった効果が大きいと考えられる [4]。

植物蛋白質利用の意義

SDGs 達成に向けて、植物蛋白質は重要な役割を担う。大豆を例にとると、生産エネルギー効率 (kcal output/kcal input) が牛肉生産の約65倍であり [5]、水の消費及び温室ガス排出量が動物蛋白質の生産に比べ大幅に少ない等、植物蛋白質の生産が動物蛋白質の生産に対して優位である [6, 7]。更に、人々の健康意識の高まりとともに、植物蛋白質の栄養機能性が注目され、植物蛋白質を積極的に食べようとする機運がある。更に近年は、vegetarianism (菜食主義) に加えて、菜食主義で許容される卵及び牛乳をも排除するveganism (完全菜食主義、絶対菜食主義等) のvegan (ヴィーガン) の割合が年々増加している。また、植物性食品を積極的に食べつつ肉も食べるフレキシタリアン (flexitarian; flexible + vegetarian の造語) も増加している [8]。これら背景から、植物蛋白質を原料とした肉代替物 (plant-based meat substitute: PBMS)、乳製品代替物 (plant-based dairy substitute: PBDS) 等の動物蛋白質代替物の需要が年々増加している。

大豆は、世界における植物蛋白質源の筆頭であり、日本でもまた、これを古来より上手く利用し、味噌、醤油、甘酒、みりん、納豆、漬物等の伝統醗酵食品を製造してきた。麹菌、(耐塩性) 酵母、乳酸菌、納豆菌等を活用した日本の伝統醗酵食品及びその醗酵生産技術は、植物蛋白質の活用において鍵を握るかも知れない。この醗酵生産技術を基盤として、更には、豆腐、高野豆腐のような醗酵によらない伝統食品の独自製法を取り入れ、植物蛋白質を原料とする新食品加工法を開発すれば、植物蛋白質を原料とする食品が更に多様化し、世界の食糧問題解決に貢献すると期待される。

著者略歴

山本和貴 (Kazutaka YAMAMOTO)

1994年 東京大学大学院農学系研究科農芸化学専攻博士課程修了博士 (農学)

同年 農林水産省入省 食品総合研究所配属

スイス連邦工科大学チューリッヒ校博士研究員、農林水産省農林水産技術会議事務局研究調査官、独立行政法人 食品総合研究所食品高圧技術チーム長等を経て、2021年より、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門 食品加工・素材研究領域食品加工グループ長補佐

〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-12

E-mail: kazutaka@affrc.go.jp

大豆以外の植物蛋白質源として、緑豆の利用も活気を帯びているという。中国では、緑豆蛋白質が注目され、はるさめ原料としての緑豆澱粉の供給が過剰になる程とも言われている。しかしながら、大豆及び緑豆の需給動向が現状のまま推移するとは限らない。よって、将来に備えて他の植物蛋白質利用を考えるのが賢明であろう。日本では、緑豆は中国からの輸入に依存していることから、万が一にも輸入が止まってしまうと、緑豆もやしが供給できなくなる [i]。また、これら以外の豆類国内生産量は、現時点ではあまり多くない。国内の豆類については、平成 19 年以降の統計が無くなった少量生産の豆（エンドウ、ソラマメ、ササゲ）もある。今後、植物蛋白質の需要を見据えて、豆類の国内栽培面積を拡大する等の方策が必要であろう。

各種豆類を植物蛋白質源として考えると、乾物での蛋白質含量（%重量）[9] の観点からは、唯一 30% を超える大豆（33.8%；豆類）が有利である（Table 1）。空豆（ソラマメ；26.0%；豆類）、落花生（ラッカセイ；25.2%；種実類）、緑豆（リョクトウ；25.1%；豆類）は、大豆に次いで蛋白質含量が高く有望である。大豆も落花生も脂質含量が高い油糧作物であり、搾油残渣の利用に期待が持たれる。また、空豆も緑豆も澱粉含量が

高く、こちらは澱粉澱の活用が期待される。それ以外の豆類でも概ね 20% が蛋白質であり、生産性との兼ね合いから利用を考えると良いかもしれない。搾油残渣及び澱粉澱の利用と併せて、低利用及び未利用の植物資源を有効活用することは、SDGs 達成にも貢献するであろう。

国連食糧農業機関の統計（FAOSTAT [ii]）によれば、2019 年の豆類の生産量（production；乾物）及び栽培面積（area harvested）は、大豆が突出して高く、それぞれ約 3.3 億トン（Fig. 1；約 330 百万トン）及び約 1.2 億 ha（Fig. 2）である。それ以外の豆については、生産量も栽培面積も 10 分の 1 以下程度である。一方、単収（単位面積当たりの収穫量；yield）については、大豆が最も高く約 2.8 トン/ha であるが、空豆が約 2.1 トン/ha、エンドウが約 2.0 トン/ha と桁違いに低いということはない。

蛋白質含量及び単収の視点から眺めると、大豆以外の豆類から植物蛋白質を抽出し、肉代替蛋白質として利用できるかもしれない。筆者は、栽培の専門家ではないので、栽培技術による蛋白質含量及び単収の増加可能性を述べることはできないが、今後、ゲノム編集技術等の発展により、蛋白質含量が高く、単位面積当

Table 1 Proximate analysis of plants as possible major protein resources [9].

和名 / Japanese name	英名 / English name	学名 / binomen	熱量 /energy (kcal)	水分 /moisture (g/100 g)	蛋白質 /crude protein (g/100 g)	脂質 /crude fat (g/100 g)	炭水化物 /carbohydrates (g/100 g)	灰分 /ash (g/100 g)	日本食品標準成分表 2020 年版 (八訂)での表記
ダイズ	soybean	<i>Glycine max</i>	372	12.4	33.8	19.7	29.5	4.7	豆類/だいず/[全粒・全粒製品]/全粒/黄大豆/国産/乾
ソラマメ	broad bean or fava bean	<i>Vicia faba</i>	323	13.3	26.0	2.0	55.9	2.8	豆類/そらまめ/全粒/乾
ラッカセイ	peanut/groundnut	<i>Arachis hypogaea</i>	572	6.0	25.2	47.0	19.4	2.3	種実類/らっかせい/大粒種/乾
リョクトウ	mung bean	<i>Vigna radiata</i>	319	10.8	25.1	1.5	59.1	3.5	豆類/りよくとう/全粒/乾
ササゲ	cowpea	<i>Vigna unguiculata</i>	280	15.5	23.9	2.0	55.0	3.6	豆類/ささげ/全粒/乾
ヤブマメ	Yabumame	<i>Amphicarpaea bracteata subsp. edgeworthii</i>	383	13.1	23.4	10.1	49.5	3.9	豆類/やぶまめ/乾
レンズマメ	lentil	<i>Lens culinaris</i>	313	12.0	23.2	1.5	60.7	2.7	豆類/レンズマメ/全粒/乾
インゲンマメ	common bean	<i>Phaseolus vulgaris</i>	280	15.3	22.1	2.5	56.4	3.7	豆類/いんげんまめ/全粒/乾
ライマメ	lima bean	<i>Phaseolus lunatus</i>	306	11.7	21.9	1.8	60.8	3.8	豆類/らいまめ/全粒/乾
エンドウ	pea	<i>Pisum sativum</i>	310	13.4	21.7	2.3	60.4	2.2	豆類/えんどう/全粒/青えんどう/乾
アヅキ	adzuki/aduki/azuki bean	<i>Vigna angularis</i>	304	14.2	20.8	2.0	59.6	3.4	豆類/あずき/全粒/乾
ツルアヅキ	ricebean	<i>Vigna umbellata</i>	297	12.0	20.8	1.6	61.8	3.9	豆類/つるあずき/全粒/乾
ヒヨコマメ	chickpea or garbanzo bean	<i>Cicer arietinum</i>	336	10.4	20.0	5.2	61.5	2.9	豆類/ひよこまめ/全粒/乾
ベニバナインゲン	runner bean	<i>Phaseolus coccineus</i>	273	15.4	17.2	1.7	61.2	4.5	豆類/べにばないんげん/全粒/乾
フジマメ	hyacinth bean	<i>Lablab purpureus</i>	32	89.2	2.5	0.1	7.4	0.8	野菜類/ふじまめ/若ざや/生
シカクマメ	winged bean	<i>Psophocarpus tetragonolobus</i>	19	92.8	2.4	0.1	3.8	0.8	野菜類/しかくまめ/若ざや/生

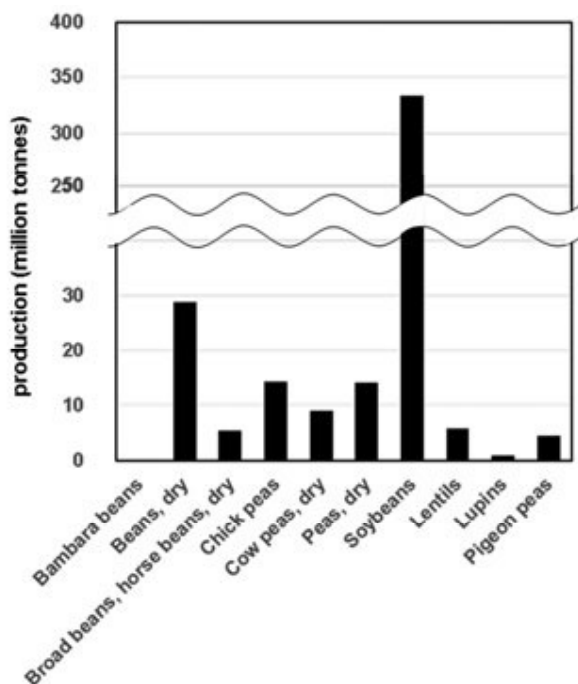


Fig. 1 Production (tonnes /ha) of beans in the world. Data for the year 2019 was extracted from FAOSTAT [ii].

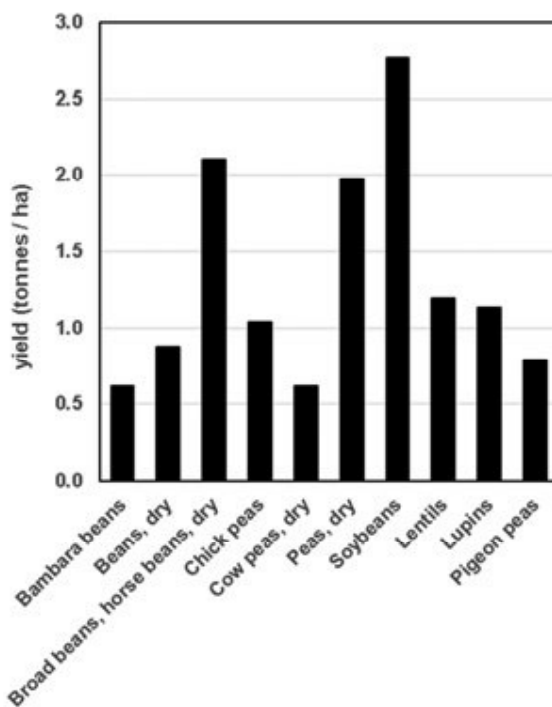


Fig. 3 Yield (tonnes / ha) of beans in the world. Data for the year 2019 was extracted from FAOSTAT [ii].

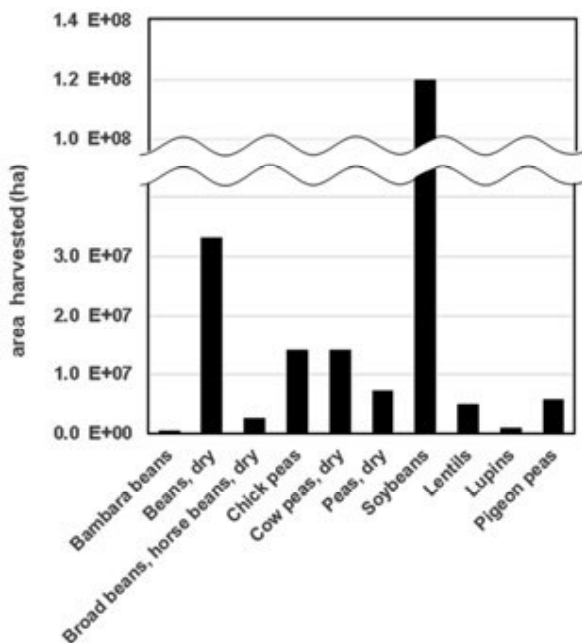


Fig. 2 Area harvested (million ha) of beans in the world. Data for the year 2019 was extracted from FAOSTAT [ii].

たりの収穫量が増加するような各種豆類の新品種が生まれる可能性に期待している。むしろ、大豆に依存する現状の食料資源確保リスクを低減するためには、大豆以外の豆類でも積極的な品種開発を進め、政策的に栽培面積を拡げる必要があるかもしれない。

肉代替物／ミートアナログ（肉類似素材）としての植物蛋白質

豆類及び穀類は、蛋白質供給源として重要な役割を担う。日本でも従来、大豆または小麦の蛋白質を「新蛋白質素材」として有効利用する試みがなされてきた [10]。とりわけ大豆由来蛋白質を主とする植物蛋白質、畜肉・魚肉代替物としての食用蛋白質開発が盛んであり、特に、粉末・粒状・繊維状に加工された大豆蛋白質は、畜肉を代替する植物蛋白質として着目され、利用が進んでいる。これらの植物蛋白質は、日本では、日本農林規格（JAS0838）において、「植物性たん白」として、その品質が規格化されている [iii]。

大豆蛋白質は、粉末・粒状・繊維状に加工され、ハム・ソーゼージの結着剤としてだけでなく、ハンバーグ、フレック肉等、牛肉そのものの代替品としても利用が進められて来た。最近注目されるレジスタントプロテイン [11] の代表格として、血中コレステロールを低下させる作用 [12]、大腸内菌叢の制御に役立つ可能性 [13] が示唆され、ミートアナログの素材としての活用が期待されている。大豆蛋白質のフィルム形成能 [14]、起泡性 [15] 等、理化学的性質に関連した独自の特性についても基盤研究が進み、ミートアナログ以外の食品素材の他、バイオプラスチックの主原料としての実用化が期待されている。

植物蛋白質のミートアナログとしての利用は、海外

でも実用化が急速に進んでいる [16]. エンドウから抽出した蛋白質で製造したハンバーガー用パテ Beyond Meat (LA, USA), 小麦及び馬鈴薯の蛋白質を利用した Impossible Burger (SF, USA) 等, 植物蛋白質を原料とするハンバーガー等が広まりつつある.

植物蛋白質利用における課題及び期待

植物蛋白質の利用は, 今後予想される動物蛋白質の不足を補うためにも, 持続可能な社会を構築する上でも, 重要な課題である. 植物蛋白質の消費拡大には, 健康上の利点も示唆されており, 例えば, 動物蛋白質の消費が多い国で骨折率が高く, 植物蛋白質の消費が多い国で骨折率が低いという報告がある [17]. 一方, vegan または vegetarian の食生活では, 雑食の場合と比べて腸内菌叢に変化があるとの報告があり, 腸内細菌が食中毒菌の腸管定着を阻害すること [18] にも関連して, 健康維持上のリスクについては, 別途注視する必要がある. 質または量に関してこれまでの摂食経験が乏しい植物蛋白質については, アレルゲンとしての注意を払うことも不可欠と考えられる.

植物蛋白質を用いた代替食品の開発は, 欧米で熱心に進められているが, 「美味しさの追求」に関して, 更なる研究が必要である. 現状の肉代替食品 (PBMS) は, 肉の持つ美味しさ, 食感, ジューシー感が不足しているとされ, 肉により近い組織化, 消費者に受容される美味しさの研究が不可欠である. 乳製品代替食品 (PBDS) では, 豆乳等の植物蛋白質を用いて, ヨーグルト, チーズ様の食品の開発が進んでいる. より美味しくするための新規な乳酸菌スターターの研究等も重要である. また, 食材としての利用が進む植物蛋白質は, 原料植物から蛋白質成分を分離・濃縮したものである. 現行の製造法では, この蛋白質の分離・濃縮に, 多くのエネルギーを使用していることから, コスト削減及び SDGs 達成の視点から, 低エネルギー・低 CO₂ 排出の新分離・濃縮技術の開発, 或いは, 丸大豆等の穀物そのものを原料とした新規な加工技術の開発も重要課題である. 植物蛋白質の更なる利用に向けた新規加工技術の開発が重要であると同時に, 従来技術としての醗酵の利活用も重要である. 我が国を始め, アジア諸国には, 多くの伝統的な植物蛋白質食品及びその醗酵食品が存在することから, これら製法の活用により, 世界の消費者の嗜好に合致した様々な新食品が創出されることが期待される.

参 考 文 献

- (1) ISAAA; Global status of commercialized Biotech/GM crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years (2017).
- (2) D. Tilman, M. Clark; Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, **515**, 518–522 (2014).
- (3) G. DeFoliart; Insects as human food, *Crop Prot.*, **11**, 395–399 (1992).
- (4) 山本和貴, 釘宮渉, 前田裕一, 矢野裕之, 楠本憲一, 鍋谷浩志; 植物蛋白質による動物蛋白質代替の動向. *日本食品科学工学会誌*, **67**, 459–473 (2020).
- (5) G. Eshel, P. A. Martin; Diet, energy, and global warming. *Earth Interactions*, **10**(9), 1–17 (2006).
- (6) D. Nijdam, T. Rood, H. Westhoek; The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*, **37**, 760–770 (2012).
- (7) T. Oki, M. Sato, A. Kawamura, M. Miyake, S. Kanae, K. Musiaka; Virtual water trade to Japan and in the world. In “Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade”, ed. by A.Y. Hoekstra, Value of Water Research Report Series, Delft, The Netherlands, **12**, pp.221–233 (2003).
- (8) E. J. Derbyshire; Flexitarian diets and health: A review of the evidence-based literature, *Front. Nutr.*, **3**(55), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00055> (2017).
- (9) 文部科学省; 日本食品標準成分表 2020 年版 (八訂) (2020).
- (10) 寺嶋正彦; 新タンパク質素材. *日本家政学会誌*, **41**, 157–163 (1990).
- (11) N. Kato, K. Iwami; Resistant protein; its existence and function beneficial to health. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **48**, 1–5 (2002).
- (12) T. Ishiguro; Influence of kori-tofu on lipid and sugar metabolism. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **65**, 488–492 (2018) (石黒貴寛. 凍り豆腐の脂質代謝・糖質代謝改善効果とそのメカニズム. *日本食品科学工学会誌*).
- (13) T. Morita, S. Kasaoka, A. Oh-hashi, M. Ikai, Y. Numasaki, S. Kiriya; Resistant proteins alter cecal short-chain fatty acid profiles in rats fed high amylose cornstarch. *J. Nutr.*, **128**, 1156–1164 (1998).
- (14) E. J. Hopkins, A. K. Stone, J. Wang, D. R. Korber, M. T. Nickerson; Effect of glycerol on the physicochemical properties of films based on legume protein concentrates: A comparative study. *J Texture Stud.*, **50**, 539–546 (2019).
- (15) Z. Wan, X. Yang, L. M. Sagis; Contribution of long fibrils and peptides to surface and foaming behavior of soy protein fibril system. *Langmuir*, **32**, 8092–8101 (2016).
- (16) L. M. Keefe; FakeMeat: How big a deal will animal meat analogs ultimately be? *Animal Frontiers*, **8**, 30–37 (2018).
- (17) L. A. Frassetto, K. M. Todd, R. C. Morris, A. Sebastian; Worldwide incidence of hip fracture in elderly women:

relation to consumption of animal and vegetable foods.

J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci., **55A**(10), M585–M592 (2000).

(18) D. C. Savage; Microbial ecology of the gastrointestinal tract. *Ann. Rev. Microbiol.*, **31**, 107–133 (1977).

引用 URL

- (i) 農林水産省；子ども相談 Q&A, 消費者の部屋（平成 16 年 3 月回答）, <https://web.archive.org/web/20070624140158/http://www.maff.go.jp/soshiki/syokuhin/heyas/qa/kid/kidqa040301.htm> (June 6, 2021).
- (ii) FAO; FAOSTAT, Production, Crops, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (June 6, 2021).
- (iii) 農林水産省；農林水産省 JAS 一覧 https://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/kikaku_itiran2.html (June 6, 2021).