

総説

ナタマメを用いた健康寿命延伸を支援する食品開発における基盤的研究

有井 康博^{1), 2), 3)} 西澤 果穂¹⁾

Key Words : カナバリン、サルコペニア、植物性タンパク質、ナタマメ、ロイシン

要旨

動物性タンパク質の過剰摂取が様々な疾患の原因になる可能性が示唆される一方で、植物性タンパク質の摂取が疾患の予防に役立つという科学的データが示され始めた。植物性タンパク質の主要な供給源は大豆および小麦であるが、これらのタンパク質もその消費に様々な問題を抱えており、植物性タンパク質の供給源には多様性が必要である。植物性タンパク質を豊富に含む食材は他にも多数あるが、加工特性に関する科学的情報が乏しい、あるいは生産性が低いものが多く、実用的ではない。そこで、著者らは生産性が高い植物由来のタンパク質の加工特性に関する科学的情報を蓄積したいと考え、研究を進めている。このような着眼点の取り組みはあまり実施されておらず、本総説では著者らのナタマメに関する最近の研究を中心に、ナタマメの特徴、ナタマメ主要タンパク質であるカナバリンの特徴、カナバリンがもつ健康寿命の延伸に関する可能性について紹介する。

Abstract

It has been recently reported that the excess consumption of animal proteins causes various diseases. In contrast, it has been reported that the consumption of plant proteins is helpful to prevent the diseases. Plant protein is mainly supplied from soybean and wheat. However, soybean protein and wheat protein have various problems for the consumption. We therefore promote our studies to produce diversity in the supply source of plant proteins. The approach is very unique. In this review, we introduced the characteristics of sword bean, the structural and physicochemical properties of canavalin and the potential of canavalin to extend healthy life expectancy, which are mainly quoted from our recent research.

¹⁾ 武庫川女子大学生活環境学部食物栄養学科

²⁾ 武庫川女子大学栄養科学研究所食品栄養部門

³⁾ 武庫川女子大学短期大学部食生活学科

責任著者：有井 康博

住所：〒663-8558 兵庫県西宮市池開町6-46

Tel.&Fax : +81-798-45-3713

E-mail : arii@mukogawa-u.ac.jp

1. 緒言

動物性食品はタンパク質の主要な供給源とされるが、近年では動物性タンパク質の摂取が様々な疾患を引き起こす可能性が示唆されている¹⁾。一方で、植物性タンパク質の摂取が疾患の予防に役立つという科学的なデータが示され始め¹⁻⁶⁾、疾患の予防や予後の回復に積極的に植物性タンパク質を摂取する試みが増えている。

現状、植物性タンパク質の供給源は、その加工特性や生産性が高い、大豆や小麦に頼っている。ところが、これらの植物性タンパク質が原因の疾患も見つかっており、近い将来には植物性タンパク質の供給源に多様性が必要となるだろう。植物性タンパク質を豊富に含む食材は大豆や小麦以外にも存在するが、加工特性に関する科学的情報が乏しく、生産性が低いものも多い。著者らは食品科学的観点から、植物性タンパク質の供給源を探るために、様々な植物性タンパク質の加工特性について科学的情報を蓄積したいと考えており、その導入として雑豆の一つであるナタマメについて解析し始めた^{7,8)}。

上述のような観点から植物性タンパク質にアプローチする研究はあまり見られず、本総説では著者らの研究を中心に述べることとなる。著者らがナタマメを研究する過程で明らかとした、ナタマメタンパク質の特性、その中でも興味深いタンパク質としてクローズアップされたカナバリンの物理化学的特性^{7,8)}を報告すると共に、研究過程において見えてきたカナバリンがもつ健康寿命の延伸に関する可能性⁷⁾を紹介する。

2. ナタマメ

ナタマメ (*Canavalia gladiata*) は *Canavalia* 属に分類される雑豆で英語名を sword bean という。 *Canavalia* 属は汎熱帯地域に見られる約60種からなる蔦性の豆属で広範囲の地域に分布する⁹⁾。亜種には *Canavalia*、*Catodonia*、*Maunaloa* および *Wenderothia* の4亜種が

ある⁹⁾。しかしながら、広範囲に及ぶ生息もあり、その分類分けは困難となっていた。最近、Snak *et al.* が ETS、ITS、*trnK/matK* を対象に分子系統解析を行い、遺伝的に系統が整理されつつあるが、いくつかの問題が残されている¹⁰⁾。例えば、ナタマメの近種で毒性が高いといわれるタチナタマメ (*Canavalia ensiformis*) という豆があり、英語名を jack bean という。イギリスの童話である「ジャックと豆の木」のモデルになった豆である。ナタマメとタチナタマメを見ただ目で見分けるのは専門家でも難しいほど似ている。学術的な分類に混乱を来していることから予想される様に食品業界においても sword bean を jack bean と表記して販売をしている業者が見られる。食品偽装ではないかもしれないが、販売において jack bean と表記し、消費意欲を湧かせることが目的であり、正しい表記をすることが望まれる。このように研究分野としても未成熟であり、食品素材としての観点からも様々な交通整理が必要なマメであることはご理解いただけたらう。

ナタマメには2種類の変種がある。赤みがかった種子をもつ赤ナタマメ (*C. gladiata* var. *gladiata*) と白い種子をもつ白ナタマメ (*C. gladiata* var. *alba*) である。著者らは赤ナタマメと白ナタマメの比較研究も行なっているが、今回の主役は白ナタマメである。研究に使用した白ナタマメは兵庫県産と奈良県産であるが、現在は安価な奈良県産に統一している (兵庫県産は奈良県産に比べて5倍の値段である)。

白ナタマメはその蔓が数mに伸び、約30 cmの鞘の中に乾燥豆にして長軸が約2.8 cm (図1A) の成熟豆が数個程度実る⁷⁾。そのタンパク質含量は乾燥豆100 g 当り27.5 g という報告があり¹¹⁾、大豆 (35.3 g/100 g 乾燥豆)¹²⁾ に比べると劣るが、タンパク質供給源としては十分である。ナタマメはアフリカ、アジア、オーストラレーシア、カリブ海諸島、中央アメリカ、インド、インド洋諸島、北アメリカ、

表1 ナタマメとダイズの成分比較

	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Carbohydrate (%)	Fiber (%)	Energy (kcal)
Sword bean ^a	7.6	27.5	5.6	61.2	2.1	405
Jack bean ^a	6.8	30.6	5.8	53.9	5.1	390
Soybean ^b	12.5	35.3	19.0	28.2	17.1	417

a 文献11から引用し、一部改変。

b 文献12から引用した。

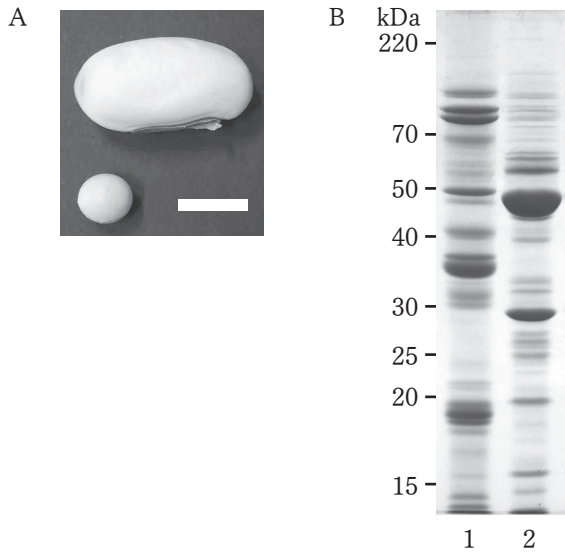


図1 白ナタマメと大豆の比較

(A) 白ナタマメと大豆の外観を比較。白棒は1 cmを示す。(B) 大豆(レーン1)と白ナタマメ(レーン2)由来の抽出タンパク質のSDS-PAGEパターンを比較。文献7より引用し、一部改変。

太平洋諸島、南アメリカに植生し¹³⁾、アジア圏では伝統的に食され^{14,15)}、南西アメリカ、メキシコおよび中央アメリカの国々でも古代より食されている¹⁶⁾。最近、日本ではお茶として飲用されているが、商品化されたものに関しては種子に加えて鞘も含まれている。農業生産の面においても、単位面積当りの収穫量は大豆に匹敵し¹⁴⁾、病害にも強い¹⁷⁾ため、食料供給源として十分な役割を果たす可能性を秘めている。著者らもタキイのタネで種を購入し家庭菜園で育ててみたが、発芽にコツが必要である以外は簡単に育てることができ、窓際に植生させることで夏の暑い日差しを避けることもできる。

3. ナタマメタンパク質の加熱特性と塩添加による沈殿形成

ナタマメタンパク質の物理化学的特性については、これまでにほとんど明らかになっていない。江戸時代にナタマメは大豆よりも食されていたという記述が残っているが、大豆の高い加工特性に押されてしまい、成熟豆は現在ではほとんど食されなくなってしまった。大豆への注目度の高さは周知のことであるが、ナタマメにおいては食品利用する試みがなく、そのために食品加工に必要な科学的データが不足し、食品素材として注目されなくなっている。

著者らは食品素材としてナタマメを利用することを目的に、ナタマメタンパク質の物理化学的特性を

明らかにすることを試みた⁷⁾。従来の生化学的な研究を実施するために用いられてきたナタマメタンパク質の抽出方法は、有機溶媒による脱脂や大量の塩添加などの操作を含んでおり、従来の方法で調製されたタンパク質の食品への利用は好ましくない。そこで、著者らは水のみを用いた新規抽出法を確立した⁷⁾。本抽出法においては、乾燥豆を直接粉砕するのではなく、大量の水で浸漬豊潤させた後に磨砕し、ナタマメタンパク質の抽出を試みた。大豆タンパク質の電気泳動パターンとは大きく異なるが、ナタマメ主要タンパク質である、カナバリン(約49 kDa)とコンカナバリンA(約29 kDa)が抽出される⁷⁾のが分かる(図1B)。尚、カナバリンという名前の似た毒性を有する α -アミノ酸がナタマメに含まれており¹⁸⁾、カナバリンと間違ふことがあるので記しておく。

ナタマメタンパク質を食品に利用するために、抽出液中のタンパク質について加熱特性と塩添加による沈殿形成を明らかにした⁷⁾。この抽出液を90°C以上で加熱すると、ほとんどのタンパク質がカッターチーズのような外観を示す沈殿物となることが分かった⁷⁾。この現象は、煮沸により体に有害な生理活性を有すタンパク質が失活する可能性を意味する。また、興味深いことに、ナタマメ抽出液に塩化マグネシウムを添加すると、カナバリンのみが沈殿する⁷⁾(図2)。その他のタンパク質にはほとんど影

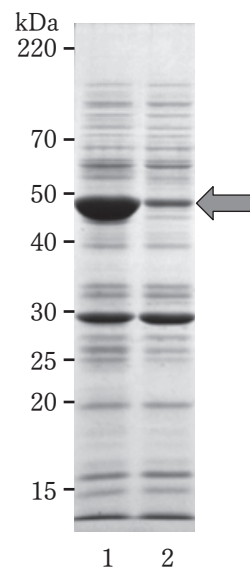


図2 塩化マグネシウム添加によるナタマメ抽出タンパク質への影響

ナタマメ抽出液に水(レーン1)あるいは最終濃度20 mMで塩化マグネシウム(レーン2)を加えた。矢印はカナバリンを示す。文献7より引用し、一部改変。

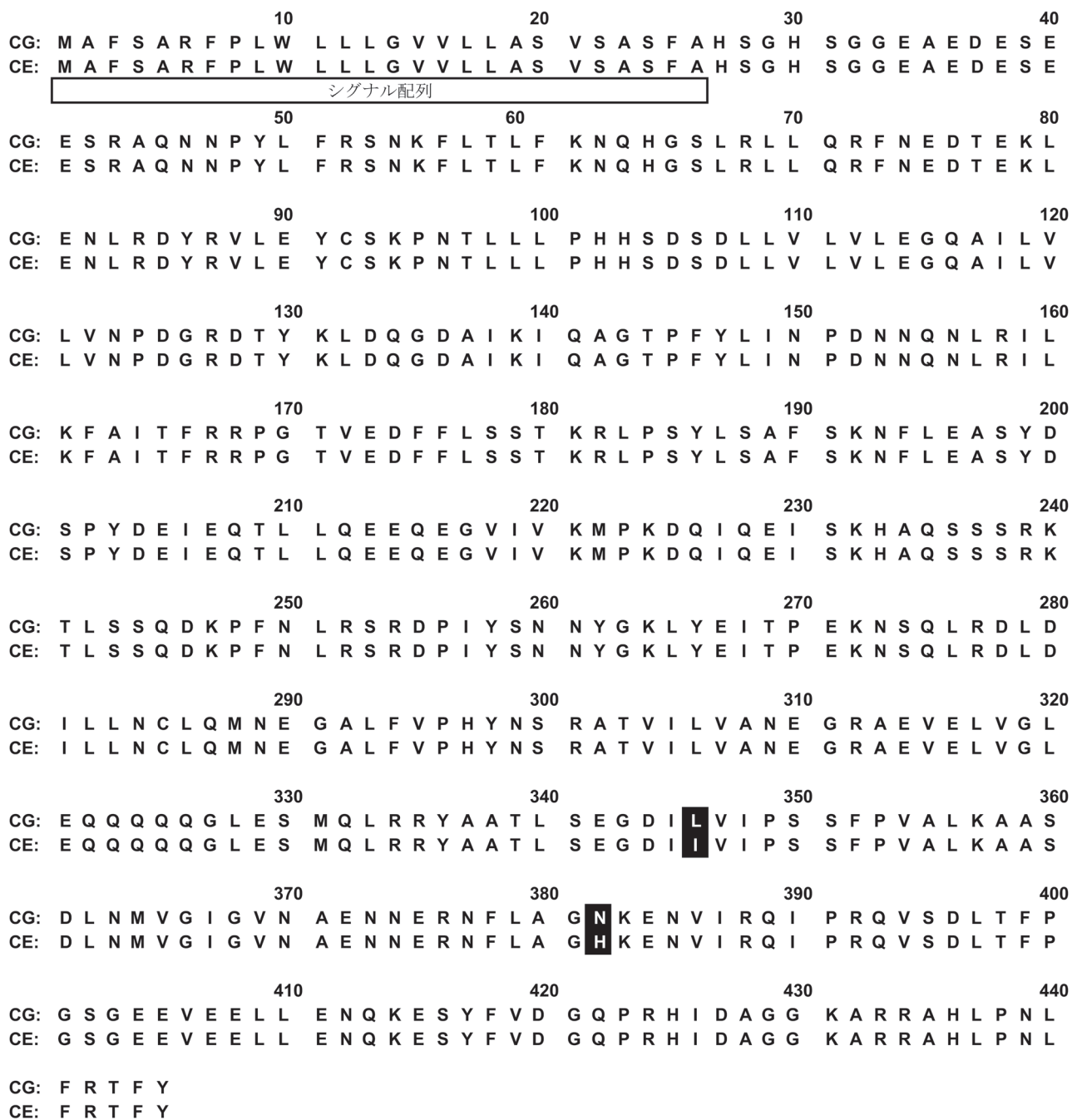


図3 ナタマメとタチナタマメのカナバリンの一次構造比較

ナタマメ (CG) とタチナタマメ (CE) のカナバリンの一次構造は各々accession numberがCAA33172とCAA42075を元に比較した。黒塗りは異なるアミノ酸配列を示す。白四角はシグナル配列を示す。

響がなく、期待した豆腐の様な沈殿が生じることはなかったが、この特異性によって著者らのカナバリンへの注目度が高くなった。それが、カナバリンを用いた健康寿命の延伸という期待へと繋がるのだが、詳細は後ほど述べる。まずは、主役のカナバリンを紹介する。

4. カナバリン

カナバリンは初期に生理機能が不明な貯蔵タンパク質と分類されたこともあり、早々に研究対象から

外れてしまい、その科学情報は非常に乏しい。ナタマメの近種であるタチナタマメで初めて単離された¹⁹⁾。タチナタマメ由来のカナバリンの一次構造はcDNA配列から決定された^{20,21)}。同じ頃、ナタマメ由来のカナバリンの一次構造もcDNA配列から決定された^{22,23)}。その一次構造からビシリン型あるいは7Sグロブリンに分類される²⁴⁾。両カナバリンの配列からN-末端領域のシグナル配列を除いた419残基のうち2残基のみが異なる配列となる(図3)。その一次構造の非常に高い相同性から両タンパク質は

同様な機能、構造および性質を持つと考えられる。ナタマメのカナバリンの結晶構造は報告されていないが、タチナタマメのカナバリンの結晶構造はホモ三量体を形成し²⁵⁻²⁹⁾、大豆の β -コングリシニンの結晶構造³⁰⁾と非常に似た構造を示す(図4)。食品科学的には、大豆 β -コングリシニンが二価金属塩の添加により豆腐沈殿を形成するという重要な役割を演じることが知られている。この性質に関しては上述の様に、カナバリンも同様な性質を示す⁷⁾。両タンパク質の高次構造が高い類似性を示すことから、二価金属塩の添加による沈殿形成と高次構造に関連性が推察されるが、高次構造の類似性が高い他のタンパク質において同様な現象が報告されておらず、現時点では推論の域を脱しない。また、次に述べるように、二価金属塩濃度によってカナバリンの可溶性が制御されることが分かっているが、 β -コングリシニンには本性質は観られない。

5. 二価金属塩濃度によるカナバリンの可溶性の制御
大豆 β -コングリシニンには観られない性質として、カナバリンの可溶性は塩化マグネシウム濃度によって制御される⁸⁾(図5A)。すなわち、15 mM以下では濃度依存的に沈殿が増加する傾向があり、15 mM以上においては濃度依存的に沈殿が減少する。一方、塩化ナトリウム存在下ではカナバリンは沈殿しない⁸⁾(図5B)。加えて、塩化カルシウム濃度は、塩化マグネシウム濃度と同様にカナバリンの可溶性を制御する⁸⁾(図6)。塩化カルシウムの場合、10 mMを境に濃度依存的な可溶性の傾向が変化する。次に、図6の結果をもとに、沈殿を引き起こす低濃度で二価金属塩を加えて沈殿を形成させた後に、水あるいは可溶化する高濃度の二価金属塩で懸濁したところ、水には溶解せず、高濃度な二価金属塩溶液には溶解した⁸⁾(図7)。また、高濃度な二価金属塩溶液で可溶化したカナバリン溶液を、沈殿

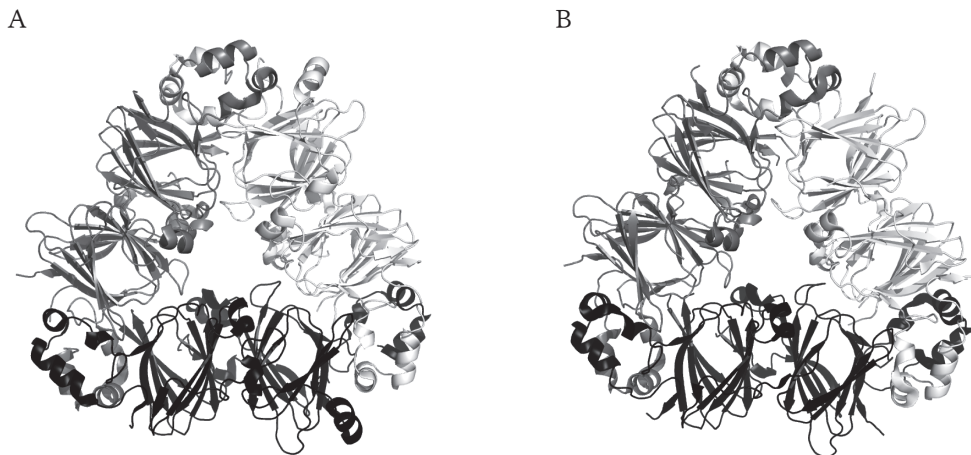


図4 カナバリンと β -コングリシニンの結晶構造
カナバリン(A)と β -コングリシニン(B)の結晶構造は各々PDBIDが1ipjと2cavを使用し、pymolで描いた。白、灰色、黒色のリボンは異なるサブユニットを示す。

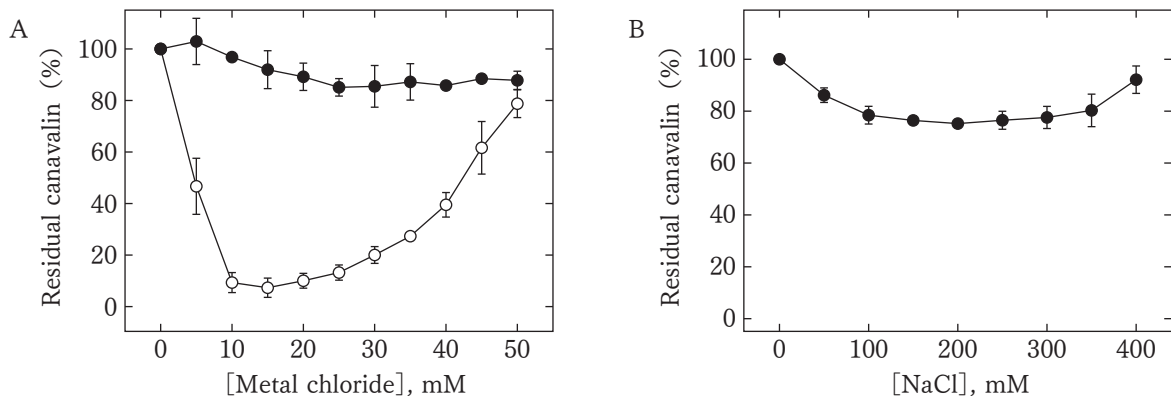


図5 金属塩濃度によるカナバリンの可溶性変化
塩濃度が0-50 mM(A)および0-400 mM(B)になるように添加した。黒丸は塩化ナトリウム、白丸は塩化マグネシウムを示す。文献8より引用し、一部改変。

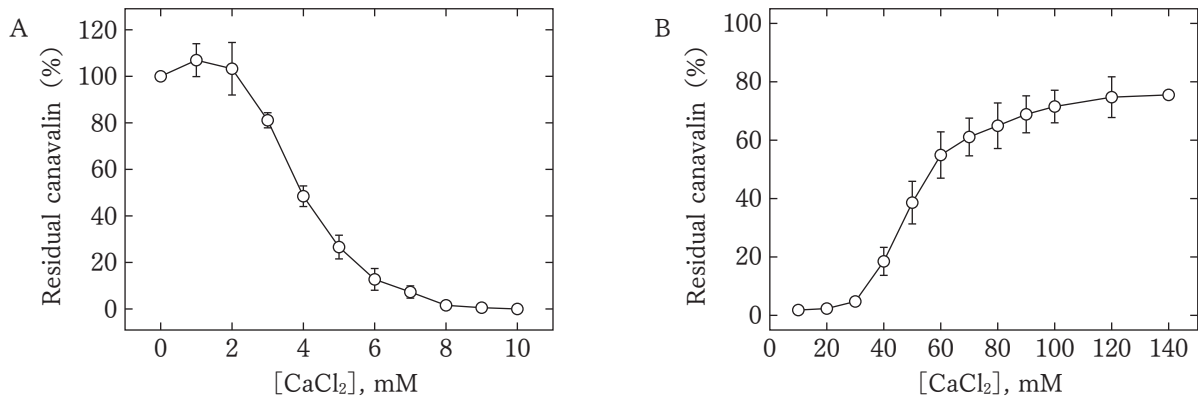


図6 塩化カルシウム濃度によるカナバリンの可溶性変化

塩化カルシウム濃度を0-10 mMまで1 mMごとに (A)、10-140 mMまで10 mMごと (B) に変化させた。文献8より引用し、一部改変。

を引き起こす濃度まで希釈すると、カナバリンの沈殿が生じる⁸⁾(図7)。これらの現象は、カナバリンの可溶性変化が二価金属塩濃度に依存して可逆的に起こる⁸⁾ことを示す。二価金属塩濃度によるカナバリンの可溶性制御をまとめると、図8の反応スキームとなる。このような二価金属塩濃度による可溶性制御はカナバリン以外で報告されておらず、その分子機構について、著者らは現在も解析中である。

図7に示された二価金属塩濃度による可溶性制御を利用して、著者らはカナバリンを簡易に大量に精製することを可能にした。このことから、カナバリンを用いた新規な機能性食品の開発の可能性を探り、興味深い利用法を見出したので、次に紹介する。

6. カナバリンを用いた健康寿命を延伸する食品開発への期待

サルコペニアの予防および改善にはロイシンの摂取と運動の組み合わせが効果的である³¹⁾。カナバリンは419残基のアミノ酸からなるが、そのうち93残基が分岐鎖アミノ酸で、52残基がロイシンである(図9)。これは、カナバリン100 g中に14.3 gのロイシンを含むことになる⁸⁾。ロイシン含量が多いタンパク質として、乳清タンパク質が注目されているが、その含量はタンパク質100 g中に約9.5 gである^{32,33)}。これらのことから、カナバリンは乳清タンパク質の1.5倍のロイシンを含むことになる。加えて、乳清タンパク質のような動物性タンパク質の過剰な摂取が発がんリスクを上げることも分かっている

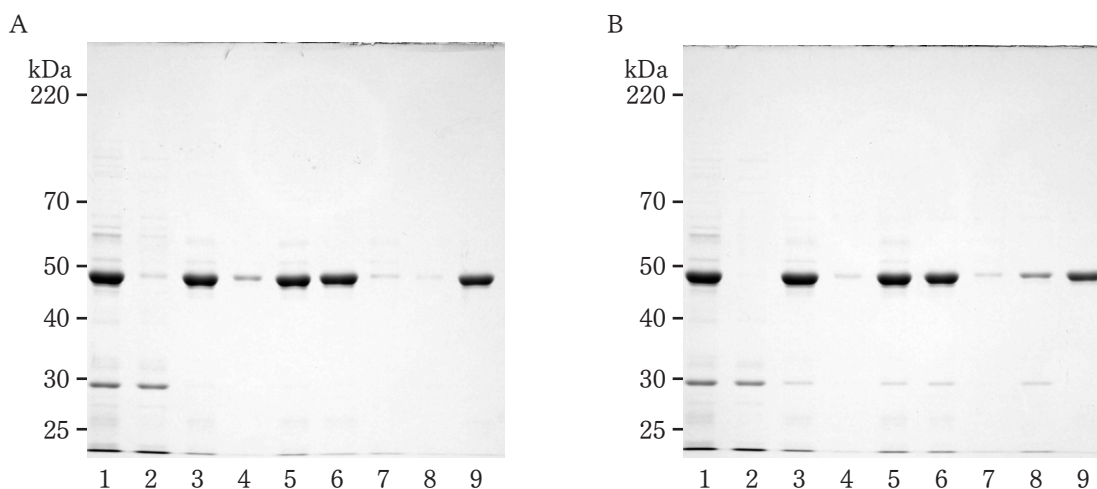


図7 不溶化したカナバリンの可溶性変化

塩化マグネシウム (A) あるいは塩化カルシウム (B) がナタマメ抽出液に15 mMあるいは10 mMで添加された。コントロールとして、塩の代わりに蒸留水を添加した (レーン1)。塩を添加後に遠心し、上清 (レーン2) と沈殿 (レーン3) に分けられた。沈殿が蒸留水に懸濁され、遠心で上清 (レーン4) と沈殿 (レーン5) に分けられた。また、沈殿が60 mM塩化マグネシウムあるいは200 mM塩化カルシウムに懸濁され、遠心で上清 (レーン6) と沈殿 (レーン7) に分けられた。上清 (レーン1) は4倍 (A) あるいは20倍 (B) に希釈され、遠心で上清 (レーン8) と沈殿 (レーン9) に分けられた。文献8より引用し、一部改変。

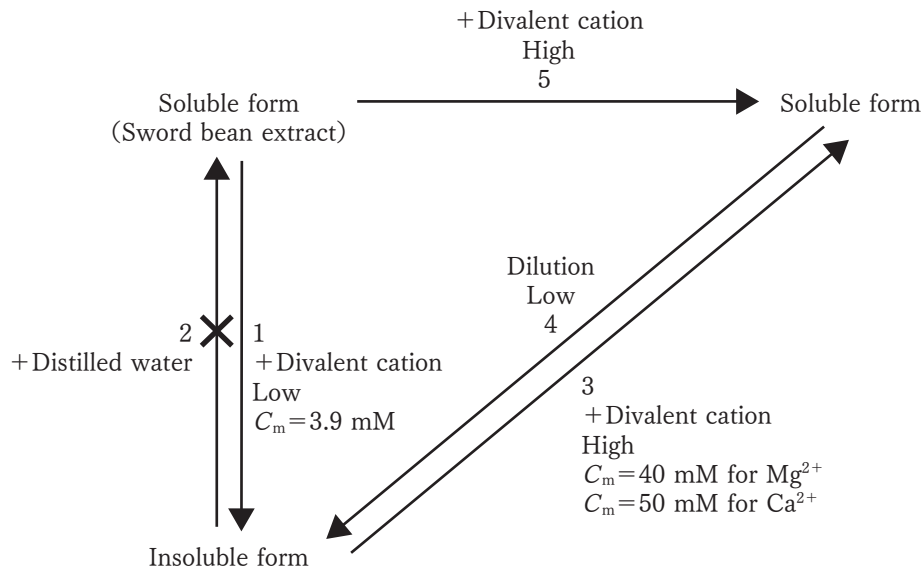


図8 カナバリンの可溶性の反応スキーム

矢印は二価陽イオン濃度の変化を示す。×印は反応が進まないことを意味する。“Low”は15 mMマグネシウムイオンあるいは10 mMカルシウムイオンを示す。“High”は60 mMマグネシウムイオンあるいは200 mMカルシウムイオンを示す。Cmは各反応の中間濃度を示す。文献8より引用。

る³⁴⁾。また、動物性タンパク質の摂取を制限し、植物性タンパク質を積極的に摂取することで、発がんリスクの低下²⁻⁵⁾、脳卒中リスクの低下、および認知症の予防に効果がある⁶⁾と報告されている。これらのことから、著者らはナタマメ由来のカナバリンの積極的な摂取が、より安全で安心して高齢者の健康寿命を延伸する可能性がある食品の開発に有用であると期待している。カナバリンに関する研究は1900年ごろから実施されているが、消化性や吸収性に関する詳細な報告については皆無である。高齢者の健康寿命を延伸する目的でカナバリンを利用するためには、カナバリンの消化性や吸収性について詳細に調べる必要があるだろう。また、二価金属塩によってカナバリンの可溶性が変化することから二価金属塩による構造的な変化が予測され、その消化性にも変化が生じると推察しているが、こちらも今後の課題としたい。

謝辞

著者らの研究内容については、公益財団法人飯島藤十郎記念食品科学振興財団平成26年度学術助成により支援を受けることで実施することができた。また、武庫川女子大学生活環境学部食物栄養学科食品科学研究室に所属した学生であった酒井綾氏のご協力の上に成り立った。カナバリンの同定については、京都大学大学院農学研究科の谷史人教授ならびに榊田哲哉助教にお手伝いいただいた。研究を実施する上で、武庫川女子大学の升井洋至教授、神戸松蔭女子学院大学の竹中康之教授に重要なアドバイスをいただいた。ここにお礼申し上げる。

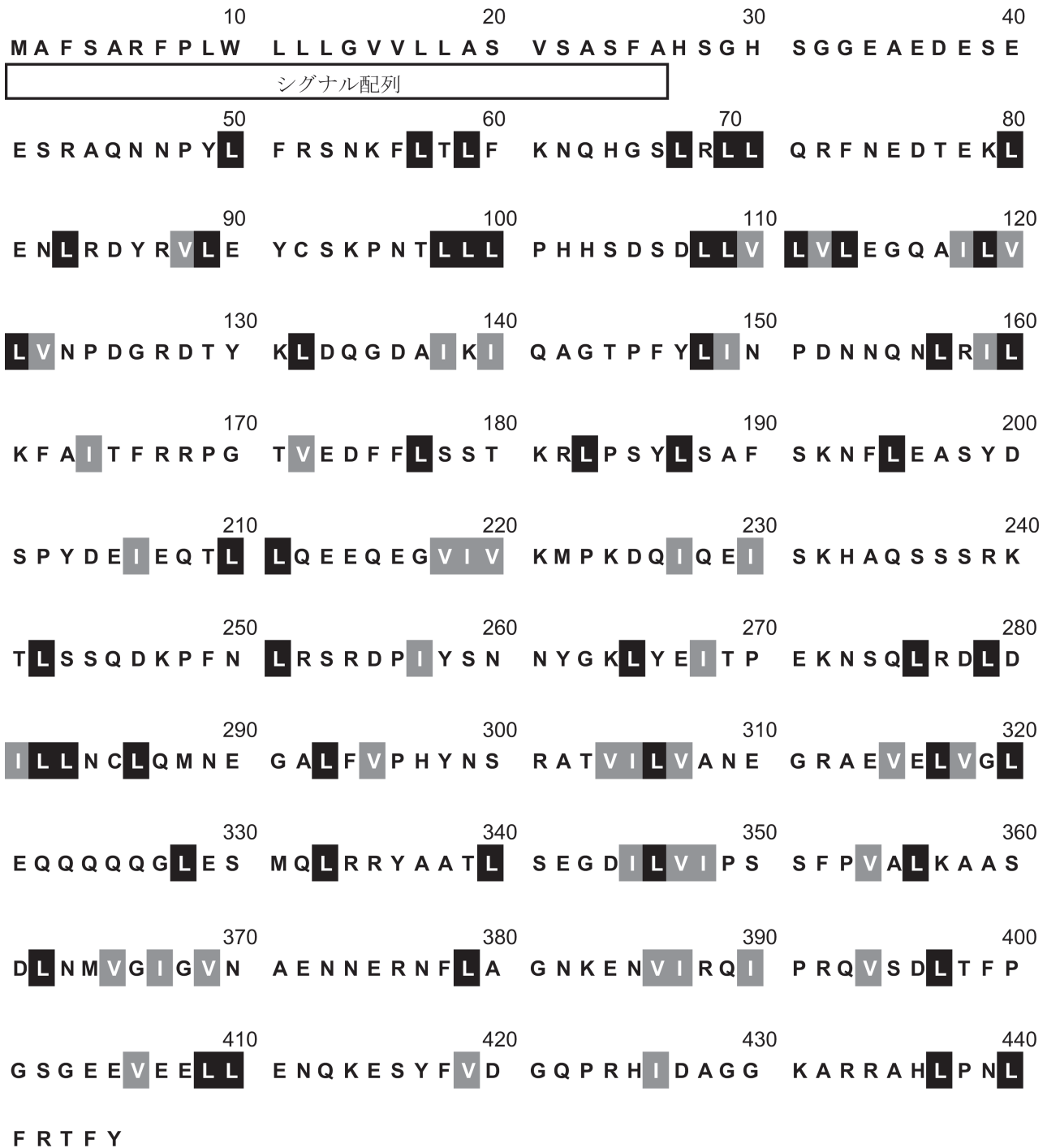


図9 カナバリンの分岐鎖アミノ酸

ナタマメのカナバリンの一次構造はaccession number がCAA33172を使用した。白抜き文字は分岐鎖アミノ酸を示す。黒塗りはロイシン、灰塗りはバリンとイソロイシンを示す。白四角はシグナル配列を示す。

参考文献

- 1) Cambell, TC and Cambell, TM: 松田麻美子訳: 葬られた「第二のマクガバン報告」上巻「動物性タンパク質神話」の崩壊とチャイナプロジェクト, グスコ出版, 2009年12月25日発行
- 2) Hakkak, R, Korourian, S, Shelnutt, SR, et al.: Diets containing whey proteins or soy protein isolate protect against 7,12-dimethylbenz (a) anthracene-induced mammary tumors in female rats: *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, 9, 113-117, 2000.
- 3) Hakkak, R, Korourian, S, Ronis, MJ et al.: Soy protein isolate consumption protects against azoxymethane-induced colon tumors in male rats: *Cancer Lett.*, 166, 27-32, 2001.
- 4) Badger, TM, Ronis, MS, Simmen, RC, et al.: Soy protein isolate and protection against cancer: *J. Am. Coll. Nutri.*, 24, 146S-149S, 2005.
- 5) Xiao, R, Badger, TM, and Simmen, FA: Dietary exposure to soy or whey proteins alters colonic global gene expression profiles during rat colon tumorigenesis: *Mol. Cancer*, 288, C747-C756, 2005.
- 6) 二宮利治: 食事と脳卒中および認知症の関係: 久山町研究: 日本農芸化学会創立100周年に向けたシンポジウム 第1回「食、腸内細菌、健康」講演要旨集, pp. 10-11, 2016.
- 7) Nishizawa, K, Masuda, T, Takenaka, Y, et al.: Precipitation of sword bean proteins by heating and addition of magnesium chloride in a crude extract: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 80, 1623-1631, 2016.
- 8) Nishizawa, K and Arai, Y: Reversible changes of canavalin solubility controlled by divalent cation concentration in crude sword bean extract: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 80, 2459-2466, 2016.
- 9) Sauer, J: Revision of *Canavalia*: *Brittonia*, 16, 106-181, 1964.
- 10) Snak, C, Vatanparast, M, Silva, C, et al.: A dated phylogeny of the papilionoid legume genus *Canavalia* reveals recent diversification by a pantropical liana lineage: *Mol. Phylogenet. Evol.*, 98, 133-146, 2016.
- 11) Rajaram, N and Janardhanan, K: Nutritional and chemical evaluation of raw seeds of *Canavalia gladiata* (Jacq) DC. and *C. ensiformis* DC: The underutilized food and fodder crops in India: *Plant Food. Hum. Nutr.*, 42, 329-336, 1992.
- 12) 文部科学省: 食品成分データベース, <http://fooddb.mext.go.jp> (2016年11月閲覧).
- 13) International Legume Database & Information Service: LegumeWeb ver. 10.01 (2016年11月閲覧).
- 14) Bressani, R, Brenes, RG, Garcia, A, et al.: Chemical composition, amino acid content and protein quality of *Canavalia* spp. seeds: *J. Sci. Food Agric.*, 40, 17-23, 1987.
- 15) Siddhuraju, P and Becker, K: Species/variety differences in biochemical composition and nutritional values of India tribal legumes of genus *Canavalia*: *Nahrung*, 45, 224-233, 2001.
- 16) Sauer J, Kaplan L: *Canavalia* Beans in American Prehistory: *Am. Antiq.*, 34, 417-424, 1969.
- 17) Smartt, J.: Editor. *Canavalia gladiata* (Jacq.) D.C. (Sword bean) : In: *Tropical Pulses*. London: Longman Group Ltd; 1976. p. 57-58.
- 18) Ekanayake, S, Skog, K, Asp, N-G: Canavanine content in sword beans (*Canavalia gladiata*) : Analysis and effect of processing: *Food Chem. Toxicol.*, 45, 797-803, 2007.
- 19) Sumner, JB: The globulins of the Jack bean, *Canavalia ensiformis*: *J. Biol. Chem.*, 37, 137-142, 1919.
- 20) Ng, JD, Stinchcombe, T, Ko, TP, et al.: PCR cloning of the full-length cDNA for the seed protein canavalin from the jack bean plant, *Canavalia ensiformis*; *Plant Mol. Biol.*, 18, 147-149, 1992.
- 21) Ng, JD, Ko, TP and McPherson, A: Cloning, expression, and crystallization of jack bean (*Canavalia ensiformis*) canavalin: *Plant Physiol.*, 101, 713-728, 1993.
- 22) Yamauchi, D, Nakamura, K, Asahi, T, et al.: cDNAs for canavalin and concanavalin A from *Canavalia gladiata* seeds. Nucleotide sequence of cDNA for canavalin and RNA blot analysis canavalin and concanavalin A mRNAs in developing seeds: *Eur. J. Biochem.*, 170, 515-520, 1988.
- 23) Takei, Y, Yamauchi, D, and Minamikawa, T: Nucleotide sequence of the canavalin gene from *Canavalia gladiata* seeds. *Nucleic Acids Res.*, 17, 4381, 1989.
- 24) Gibbs, RE, Strongin, KB and McPherson A: Evolution of legume seed storage proteins—a domain to common to legumins and vicilins is duplicated in vicilins: *Mol. Biol. Evol.*, 6, 614-623, 1989.
- 25) McPherson A: The three-dimensional structure of canavalin at 3.0 Å resolution by X-ray diffraction analysis: *J. Biol. Chem.*, 255, 10472-10480, 1980.

- 26) Ko, T-P, Ng, JD, and MacPherson: The three-dimensional structure of canavalin from jack bean (*Canavalia ensiformis*) : Plant Physiol., 101, 729-744, 1993.
- 27) Ko, TP, Ng, JD, Day, J, et al.: Determination of three crystal structures of canavalin by molecular replacement: Acta Crystallogr. D Biol. Crystallogr., 49, 478-489, 1993.
- 28) Ko, TP, Day, J, McPherson, A: The refined structure of canavalin from jack bean in two crystal forms at 2.1 and 2.0 Å resolution: Acta Crystallogr. D Biol. Crystallogr., 56, 411-420, 2000.
- 29) Ko, TP, Kuznetsov, YG, Malkin, AJ, et al.: X-ray diffraction and atomic force microscopy analysis of twinned crystals: rhombohedral canavalin: Acta Crystallogr D Biol Crystallogr., 57, 829-839, 2001.
- 30) Maruyama N, Adachi M, Takahashi K, et al.: Crystal structures of recombinant and native soybean β -conglycinin β homotrimers: Eur. J. Biochem., 268, 3595-3604, 2001.
- 31) Katsanos, CS, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, et al.: A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential aminoacids in the elderly: Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab., 291, E381-E387, 2006.
- 32) Yang, Y, Breen, L, Burd, NA, et al.: Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men: Br. J. Nutr., 108, 1780-1788, 2012.
- 33) Kuwata, T, Pham, AM, MA, CY, et al.: Elimination of β -lactoglobulin from whey to simulate human milk protein: J. Food Sci., 50, 605-609, 1985.
- 34) Kurahashi N, Inoue M, Iwasaki M, et al.: Dairy product, saturated fatty acid, and calcium intake and prostate cancer in a prospective Cohort of Japanese men: Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev., 17, 930-937, 2008.