

◇◇◇ 解説記事 ◇◇◇

凍結融解による豆乳成分の分画と新規加工食品の開発

守田 和 弘

東京医療保健大学 医療保健学部

1. はじめに

大豆は我が国においてなじみの深い食品素材の1つであり、古くから豆腐、納豆、味噌、醤油などに加工され食されてきた。大豆は植物でありながらタンパク質を多量に含み、脂質、炭水化物もバランス良く含むことから、栄養学的に大変優れた食品素材といえる。加えて最近では、大豆に含まれるイソフラボン、サポニン、レシチンといった豊富な機能性成分にも注目が集まっており、大豆食品の摂取による健康の維持・増進、生活習慣病の予防などにも期待が高まっている。その一方で、近年は食生活の欧米化・多様化が進み、若い世代を中心に大豆食品の摂取は減少傾向が続いている。要因の1つに、食品への用途が豆腐や納豆などに限定されていることが挙げられており、今後、大豆の需要拡大のためには、従来の大豆加工品とは異なる新たな用途開発が必要と考えられている。こうした背景から、筆者は大豆の優れた栄養性に着目し、その特徴を活かした新たな用途開発について検討を行うこととした。大豆に含まれる成分の中でも、とりわけ含有量が多く、豆腐の凝固にも密接に関与するタンパク質を対象としてとりあげた。

大豆タンパク質の主要成分は、7S、11Sとよばれる2つのグロブリンタンパク質画分であり、両者でタンパク質全体の約70%を占める。7Sの主成分は β -コングリシニン、11Sの主成分はグリシニンであり、それぞれ凝固性が異なる。例えば、7Sを多く含む豆乳から調製した豆腐は柔らかく、11Sを多く含む豆乳から調製した豆腐は硬くなる性質がある [1]。そのため、7S、11Sを

分離して食品加工に利用することができれば、従来までの加工品とは異なる、新たなテクスチャーを有する食品の開発が期待できる。

筆者は、大豆の新規用途開発に向けた新素材開発を目的に、これまであまり検討されていなかった豆乳の凍結融解処理に着目した。検討を進める中で、凍結融解を利用することにより、豆乳中における7S、11Sの簡易分画技術の開発に至った [2]。ここでは、この分画技術の詳細とメカニズム、および分画物を利用した新たな加工食品の開発に関する研究成果について紹介する。

2. 豆乳の凍結融解処理

卵白を加熱すると白く凝固するように、タンパク質の加熱による変性はよく知られた現象である。タンパク質はまた、加熱した場合と同様に、冷却や凍結によっても変性することも知られている。筆者は、このタンパク質の凍結変性に着目し、豆乳に対する凍結融解処理が豆乳の性状に及ぼす影響について検討を行った。

これまで、加熱した豆乳の凍結融解処理についてはいくつかの検討がなされており、加熱豆乳は凍結融解によって白いスラリー状の沈殿物を生成し、豆乳全体が緩く凝固する現象が報告されている [3]。この凝固物は、凍結時にタンパク質が非凍結部に濃縮され、タンパク質同士が相互作用することによって生成すると考えられている。また、この凝固物は豆腐とは異なるソフトで独特なテクスチャーを有することから、食品への利用用途としてハムなどに添加する可能性について議論されている [4]。

一方、豆乳は通常、あらかじめ加熱（変性）した後、飲用あるいは豆腐製造などに使用されるため、加熱されていない生豆乳を扱った研究例は極めて少ない。そこで、筆者は生豆乳についても同様に凍結融解処理を試みることにした。具体的には、実験室で加熱せずに調製した生豆乳と加熱豆乳（対照）を -30°C で凍結させ、 10°C で24時間静置融解を行った。その結果、加熱豆乳では白いもやもやした塊状の沈殿物が浮遊し、豆乳全体が緩く凝固する現象が確認できた。一方、生豆乳では明確に二層（以下、上層および下層）に分離する現象がみられた（図1）。なお、凍結融解処理を行わない

著者略歴

守田和弘（もりたかずひろ）

東京医療保健大学 医療保健学部 医療栄養学科 講師

2003年 静岡大学農学部卒業

2004年 富山県農林水産総合技術センター 研究員

2012年 富山県農林水産総合技術センター 主任研究員

2016年 筑波大学大学院生命環境科学研究科博士課程修了 博士（農学）

2019年より現職

〒154-8568 東京都世田谷区世田谷 3-11-3

E-mail: k-morita@thcu.ac.jp



図1 豆乳の凍結融解後の様子
左：加熱豆乳，右：生豆乳

生豆乳では、10℃で24時間静置しても二層への分離は認められなかった。

3. 分離豆乳の特性

凍結融解によって二層に分離した生豆乳は、それぞれ成分や性質の異なる可能性が考えられた。そこで、この二層について成分の詳細を分析したところ、分離した上層には7S、下層には11Sが多く含まれることが明らかとなった(図2)。さらに、上層と下層を種々の割合で混合し、その後、凝固剤(CaCl₂)の添加により豆腐を調製して破断応力を調べたところ、上層の割合が多くなるほど最適なCaCl₂濃度、すなわち最も破断応力が高くなるCaCl₂濃度は高くなり、その時の破断応力は逆に低くなることが示された(図3)。これらの結果、簡易な凍結融解法により豆乳中の7Sと11Sを粗分画でき、上層と下層を適当な比率で混合することにより、豆腐の物性を調整できる可能性が示された。

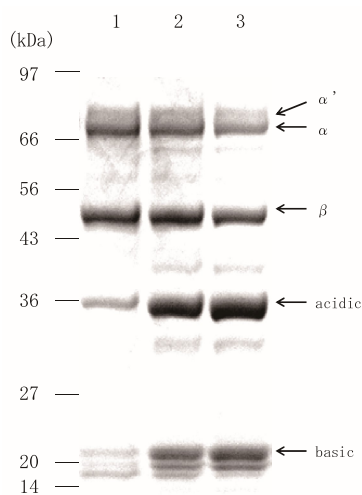


図2 凍結融解により生豆乳から分離した上層と下層のSDS-PAGEパターン
レーン1：上層，2：生豆乳，3：下層。
 α 、 α' 、 β は β -コングリシニンのサブユニット、
acidic、basicはグリシニンの構成ポリペプチドを示す。

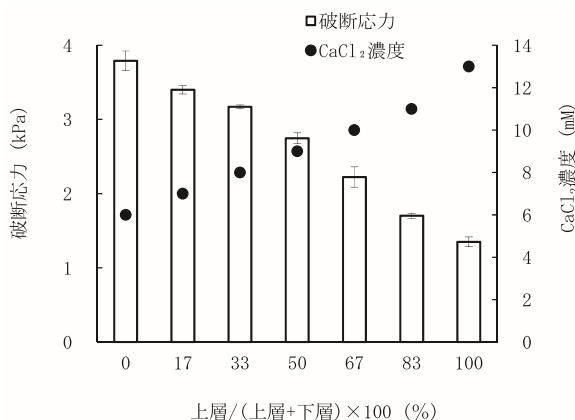


図3 上層豆乳と下層豆乳の混合比を変えて
最適なCaCl₂濃度で調製した豆腐の破断応力

4. 分離豆乳を利用した新規加工食品の開発

本技術によって得られた分離豆乳の食品への応用について検討した。上層、下層を用いて絹ごし豆腐様の豆腐を試作したところ、上層から調製した豆腐のテクスチャーは柔らかく滑らかで、下層から調製した豆腐は硬く弾力があった(図4)。これらの性質から、上層は柔らかく滑らかな食品、下層は硬く弾力性のある食品に適すと考えられた。そこで、上層と下層を一旦加熱、冷却後、上層についてはユズ果汁を添加し酸凝固させたデザート様食品、下層については澱粉や食塩を加え混練し羊腸に詰めボイルしたソーセージ様食品をそれぞれ試作した(図5)。試作品について、一般の



図4 分離生豆乳から調製した豆腐
左：上層から調製した豆腐
右：下層から調製した豆腐



図5 分離生豆乳を用いて試作した新たな豆乳加工品
左：上層から試作したデザート様食品
右：下層から試作したソーセージ様食品

消費者や女子学生を対象に官能評価を実施したところ、上層デザートは柔らかく滑らかで食べやすく、下層ソーセージは硬く弾力があり、肉団子やつみれのような食感を呈すると評価された。いずれも、これまでの大豆加工品とは異なる食感を有しており、分離豆乳を利用することで、新たな加工品の開発が可能になるものと考えられた。この他、食品企業（豆腐製造業者、菓子製造業者、畜産加工業者、惣菜製造業者など）や大学等と連携することで、分離豆乳を利用したプリン、ティラミス、ヨーグルト、クッキー、ようかん、パウンドケーキ、ハンバーグなど、さまざまな加工品を開発することができた。

一方、本分離技術によって得られた上層には、機能性成分として血中の中性脂肪を低減する効果のあるβ-コングリシニン（7Sの主成分）が多く含まれる。また、下層には血漿コレステロール低下作用のあるグリシニン（11Sの主成分）が多く含まれる。さらに、下層にはリン脂質の一種であるレシチンも多く含まれていると考えられ、コレステロール低下作用に加えて脂質代謝調節機能や認知症予防効果が期待される。このように、分離豆乳の利用は、テクスチャー特性のみならず機能性成分の特徴を活かした用途開発も可能と考えられ、今後、これらの性質の差を利用した新たな加工品の開発が期待される。

5. おわりに

本研究では、豆乳に凍結融解という新たな処理を適用することで、大豆の新規用途開発の可能性を示すことができた。これまで報告されている7S、11Sの分離法は、いずれも操作が複雑で生産コストも高いことから、実際の食品製造現場に直接応用することは困難であった。一方、本研究における分離法は、特別な設備投資がなくても、一般的な凍結装置があれば実用化が可能な技術であり、製造現場レベルでの簡易分画を可

能にしたものである。本技術の大きな特徴は、「凍結」を利用した点であり、融解後も通常通り製品開発が可能である。すなわち、コールドチェーンが発達した現代においては、豆乳を凍結したまま流通させることが容易であることから、流過程そのものを加工工程として利用できる可能性を示しており、今後は豆乳加工業者（豆腐製造業者）のみならず、菓子業者や惣菜業者など食品業界全体における活用を期待したい。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、筑波大学大学院生命環境科学研究科教授 中嶋光敏先生、静岡県立大学食品栄養科学部教授 下山田真先生には多大なご指導とご助言を賜りました。また、加工品の試作、開発にあたり、多くの企業の方々にご協力をいただきました。この場をお借りして深く御礼申し上げます。

References

- 1) K. Saio, M. Kamiya, T. Watanabe; Food processing characteristics of soybean 11S and 7S proteins. *Agric. Biol. Chem.*, **33**, 1301-1308 (1969).
- 2) K. Morita; Freeze-thaw fractionation of proteins in soymilk (in Japanese). *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.*, **65**, 227-232 (2018).
- 3) M. Shimoyamada; Food functionality through the interactions among soybean constituents (in Japanese). *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.*, **50**, 445-450 (2003).
- 4) K. Hashizume; Studies on production of new textured protein by freeze denaturation of soybean protein (in Japanese). *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.*, **26**, 450-459 (1979).

「日本食品工学会フォーラム 2019 講演要旨より転載」