

タンニン添加による豆乳とその加工品の
低アレルギー化とテクスチャー改善効果の検証

島根大学 人間科学部

鶴永 陽子

大豆は、数千年にわたり利用されてきた伝統的な食材であり、世界で最も重要な作物の一つである(Hartman et al., 2011)。日本においても古くから豆腐や味噌、醤油などに加工され、和食文化の形成に不可欠な食品素材であった。世界的に大豆の生産量は著しく増加しているが、その用途は主に大豆粕や油であり、人間が直接食料として消費する割合はごく僅かに過ぎなかった。

しかし近年、大豆の価値が見直され、その需要は世界的に拡大・多様化している。その背景には、まず高品質なタンパク質源としての栄養価の高さがある。イソフラボンなどの機能性成分への関心も高く、健康志向の消費者の需要を喚起している(Hartman et al., 2011)。また、世界的なヴィーガン人口の増加に伴う代替タンパク質市場の拡大も、大豆需要を押し上げる大きな要因である。

さらに、地球規模での食糧安全保障が課題となる中、持続可能なタンパク質源としての期待も大きい。大豆は優れたゲル化特性、栄養価、低コストという利点から代替肉の原料として極めて有望視されている(Zhang et al., 2021)。日本国内においても大豆の需要は増加傾向にあり、今後、大豆は世界的な食糧課題の解決に大きく貢献しうる重要な作物と位置づけられる。

しかしながら、大豆には7S グロブリン(β コングリシニン)というアレルゲンが含まれており、大豆のタンパク質全体の30%を占める。特に、 β コングリシニンは強い熱安定性を示し、従来の加工技術では破壊されにくいため、大豆アレルギー症状を引き起こした場合、栄養素の消化と吸収、代謝が阻害され、過敏症や死に至ることもある(Hei et al., 2012)。大豆の低アレルゲン化技術の研究では、アレルゲンタンパク質を欠く新たな大豆の開発や、熱処理加工、発酵、酵素を用いた加水分解、遺伝子修飾、加圧押出機を用いた食品加工などが行われている。アレルゲン性が低下する可能性がある方法もいくつか見つかっているが、未だ確実ではないためさらなる研究が求められる。大豆の低アレルゲン化には専門的な技術や設備が必要であり、実用化はまだ困難である。また、低アレルゲン化処理を施すことで、大豆タンパク質の栄養品質が保たれるかどうかについての懸念が見られる。

本研究室では、以前から食品加工時に廃棄される栗の皮(Tsurunaga & Takahashi, 2021)や、カキ栽培時の摘果工程や規格外品として廃棄されるカキの果実(Tsurunaga ら, 2022)に関する研究を行ってきた。その中で、これらには多量の可溶性タンニンが含まれていることを確認している。タンニンは可溶性と不溶性の2種類に分類され、カ

キの渋みは可溶性タンニンによるものである。可溶性タンニンはタンパク質との結合性が高く(Tsurunaga & Onda, 2021)、抗酸化作用が高いことで知られている。これまでの研究において、我々は可溶性タンニンが有するタンパク質の結合作用を活用し、小麦に可溶性タンニンを添加することで低アレルギー化する技術を開発している(Tsurunaga ら, 2023)。本研究では、まず、大豆アレルギーを効果的に低下させる食品素材の検索を行い、大豆加工に応用できないか検証することを目的として実験を行った。

【実験方法】

実験Ⅰ 各種植物の熱水抽出液の添加が豆乳中のタンパク質に及ぼす影響

1) 材料

材料は、豆乳の素ならびにポリフェノールを多く有する植物 14 種（カキ（未脱渋）、カキ（へタ）、カキ（種子）、アカメガシワ（葉）、ヤマモモ（葉）、クリ（渋皮）、クリ（鬼皮）、クリ（イガ未熟）、クリ（イガ完熟）、茶、小豆（渋きり水）、スイバ（全草）、ドクダミ（全草）、ラカンマキ（全草））を用いた。

2) 実験方法

各植物素材は、凍結乾燥したのち熱水にて抽出してタンニン抽出液を得た。豆乳の素に蒸留水を加え 95℃で 10 分間加熱した後、対照区には蒸留水を、タンニン素材添加区には素材の熱水抽出液を豆乳液と同量添加した。各タンニン素材の熱水抽出中の総ポリフェノール含量は、フォーリン・チオカルト法で測定した。また、熱水抽出液添加による大豆タンパク質への影響を、電気泳動（SDS-PAGE）により確認した。各抽出液の総ポリフェノール含量を図 1 に示す。SDS-PAGE のサンプルバッファーは、2×Laemmli Sample Buffer（4% SDS、20% グリセロール、10% 2-メルカプトエタノール、0.004% ブロモフェノールブルー、0.125M Tris-HCl、pH 6.8）と 2-メルカプトエタノールを 19：1 で混合して使用した。

実験Ⅱ 渋ガキペーストと豆乳の混和がテクスチャーおよび大豆アレルギー及ぼす影響

1) 材料

カキペーストの原材は、島根県農業技術センター（島根県出雲市）で適期に収穫されたカキ‘西条’の奇形果、軟化果実などの規格外果実を用いた。渋ガキペーストには、収穫

後一昼夜冷蔵庫(10°C)で保管した規格外果実を用いた。脱渋カキペーストには、収穫後、直ちに室温下で3日間かけてドライアイス脱渋法により脱渋した規格外果実を用いた。ペースト化は、果実のヘタおよび種子を取り除いたあと、4つ切りにし、さらに数ミリ程度にスライスし、皮ごと1000 ml容量のオスターブレンダーで均一になるまで約2分間摩砕した。豆乳は無調整豆乳を使用した。以下、ドライアイス法で脱渋処理した後にペースト化したものを脱渋 P(Paste)、脱渋処理を行わずにペースト化したものを渋 P(Paste)と示す。

2) 実験方法

原料の豆乳と脱渋もしくは未脱渋ガキの混合ペーストの調整を行った。まず、豆乳に脱渋 P もしくは渋 P を加え、オスターブレンダーで混合した。混合割合は豆乳に対し水、脱渋 P もしくは渋 P を25%、50%添加し、合計6処理区とした。

3) テクスチャー測定

物性は、直径40 mm、高さ15 mmのステンレス製シャーレ(株式会社山電社製、ST-40)にいれた原料ペースト、混合ペーストをクリープメーターRE2-33005B(株式会社山電、東京都)を用いて測定した。20 ± 1°Cの条件下で、1処理区つき4反復測定した。条件はロードセル10 N、SPEED10 mm/sec、歪率66.67%に設定した(Tsurunaga, 2016)。各試料のかたさ応力、ガム性、付着性、凝集性について、テクスチャー解析ソフト(YAMADEN 社製 Ver.2.2)を用いて求めた。

4) SDS-PAGE

1レーンあたりの計算上のタンパク質量が同等になるように、サンプルに加水したのち、実験Iと同様の条件でSDS-PAGEによる観察を行った。

5) 統計処理

SPSS ソフトウェア (Version 28.0. SPSS. Chicago, IL. USA) を用い、データを一元配置分散分析(ANOVA)した後、さらに Tukey 法を用いて多重比較分析した。有意水準は5%である。

【結果および考察】

実験 I 各種植物の熱水抽出液の添加が豆乳中のタンパク質に及ぼす影響

大豆の主要アレルゲンは、 β -コングリシニン由来の α 、 α' 、 β -サブユニットとされている。本実験では、14種類の植物の熱水抽出液の添加が豆乳中のタンパク質に及ぼ

す影響を検討したが、植物素材カキ（未脱渋果実）、クリ（渋皮）、クリ（イガ）の熱水抽出液を添加すると、これらのバンドが薄くなる傾向が観察された（図2）。

実験Ⅱ 渋ガキペーストと豆乳の混和がテクスチャーおよび大豆アレルゲン及ぼす影響

実験Ⅰで、豆乳のアレルゲンレベルを下げる効果が強く、食履歴もある渋ガキを実験に用いることにした。各混合ペーストの外観を図3に、テクスチャー測定結果を図4、5、6に示す。かたさ応力は渋P50%区のみ有意差がみられた。ガム性、付着性も同様の結果となった。このことから、豆乳と渋Pを同量混合すると、かたさ、歯ごたえ、粘り気が増すことが分かる。鶴永ら(2012)の研究ではカキタンニンを豆乳に添加すると、タンニン無添加と比較してゼリーの破断応力等の物性値が高まったと報告し、この理由を、タンニンが豆乳タンパク質と強く結合し複合体を形成したことが影響したと述べている。本研究においても同様の現象によるものだと考える。

各ペーストのSDS-PAGEの結果を図7に示す。図7の結果から、レーン6(渋P50%)が最もバンドが薄くなっていた。渋P50%と同様に豆乳と等量のペーストを添加したレーン4(脱渋P50%)も若干全バンドが薄くなっていたものの、バンドの濃さの違いは顕著であった。渋Pと脱渋Pのタンニンは、前者が可溶性タンニンであるのに対し、後者は不溶性タンニンである。タンパク質との結合性は可溶性タンニンが強いことが知られており、本研究においても同様の結果が得られたと考える。

【要約】

SDS-PAGEにより、大豆アレルゲンレベルを効率よく低減できたのは、カキ（未脱渋果実）、クリ（渋皮）、クリ（イガ）であることが分かった。次に、カキ果実の渋の有無が大豆のアレルゲンレベルおよびテクスチャーに及ぼす影響について検討したところ、渋ペーストを添加すると硬さ応力、ガム性、付着性は、脱渋ペーストと比較して著しく増加することが分かった。タンニンは、アレルゲンレベルを低減し、テクスチャーを大きく変化させることが示唆された。今後は、渋ペーストのどの成分がアレルゲンレベルを低下させ、テクスチャーを変化させているのかを検証する予定である。

【謝辞】

本研究を遂行するにあたりましては、タカノ農芸化学研究助成財団様より格別のご高配ならびに温かいご支援を賜りました。ここに謹んで深甚なる謝意を表します。

【引用文献】

- Hartman, G. L., West, E. D., & Herman, T. K. (2011). Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, 3, 5-17.
- Hei, W., Li, Z., Ma, X., & He, P. (2012). Determination of beta-conglycinin in soybean and soybean products using a sandwich enzyme-linked immunosorbent assay. *Analytica chimica acta*, 734, 62-68.
- Tsurunaga, Y. (2016, October). Formation of a protein-tannin complex to remove astringency during processing of Western-style persimmon jelly. In *VI International Symposium on Persimmon 1195* (pp. 177-182).
- Tsurunaga, Y., Arima, S., Kumagai, S., & Morita, E. (2023). Low allergenicity in processed wheat flour products using tannins from agri-food wastes. *Foods*, 12(14), 2722.
- Tsurunaga, Y., & Onda, M. (2021, September). Effects of soy milk and condensed milk on astringency removal, astringency recurrence, appearance, and syneresis in persimmon paste. In *VII International Symposium on Persimmon 1338* (pp. 365-374).
- Tsurunaga, Y., & Takahashi, T. (2021). Evaluation of the antioxidant activity, deodorizing effect, and antibacterial activity of 'Porotan' chestnut by-products and establishment of a compound paper. *Foods*, 10(5), 1141.
- Tsurunaga, Y., Takahashi, T., Kanou, M., Onda, M., & Ishigaki, M. (2022). Removal of astringency from persimmon paste via polysaccharide treatment. *Heliyon*, 8(9).
- Zhang, T., Dou, W., Zhang, X., Zhao, Y., Zhang, Y., Jiang, L., & Sui, X. (2021). The development history and recent updates on soy protein-based meat alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 702-710.
- 鶴永陽子, 高橋哲也, 山下稚香子, 鈴木秀規, 牧慎也, 松崎一, 近重克幸, 生田千枝子, & 松本敏一. (2012). 可溶性カキタンニンの化学反応性を利用したカキ洋菓子の製造. *日本家政学会誌*, 63(4), 185-192.

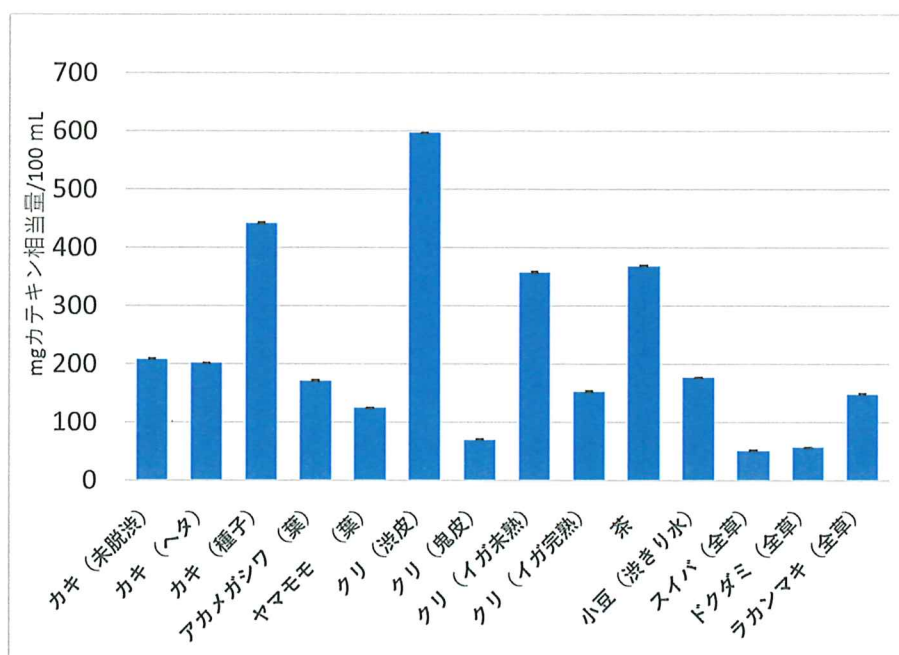


図1 各植物の熱水抽出物の総ポリフェノール含量 (n=3)

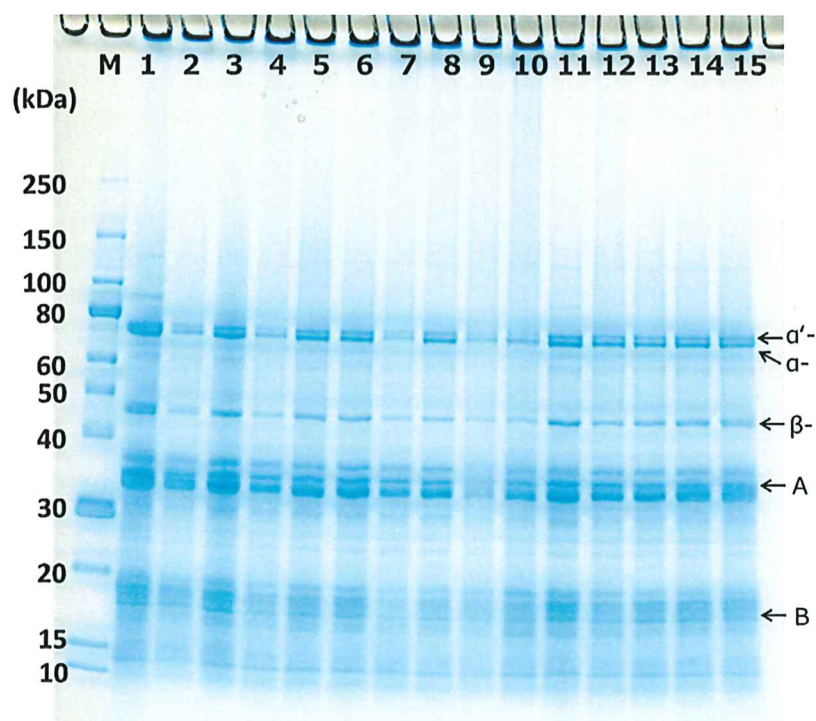


図2 各植物の熱水抽出液添加による豆乳の SDS-PAGE

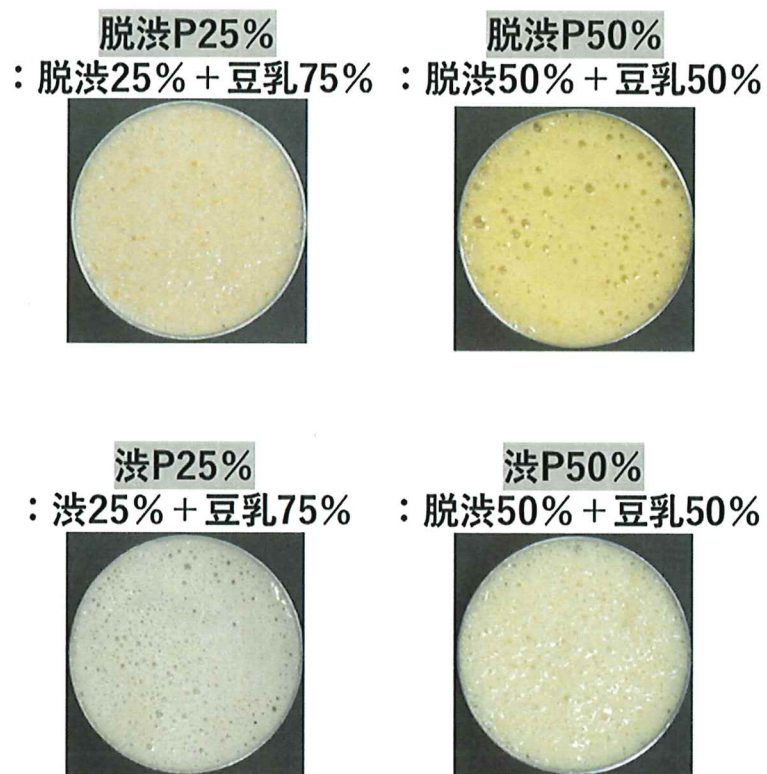


図3 渋もしくは脱渋Pを添加した混合ペースト

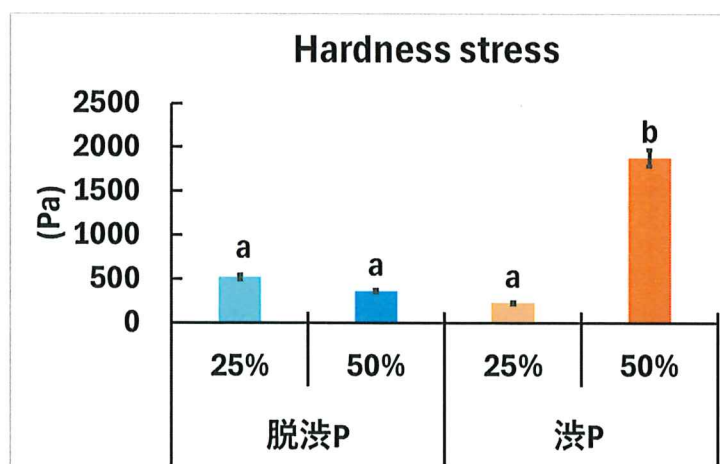


図4 混合ペーストの硬さ応力 (n=4)

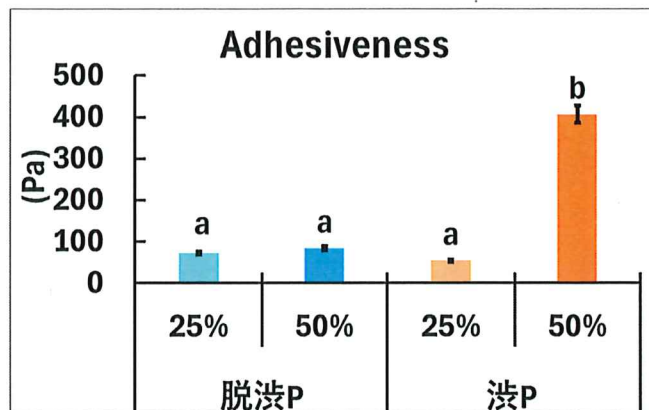


図5 混合ペーストの付着性 (n=4)

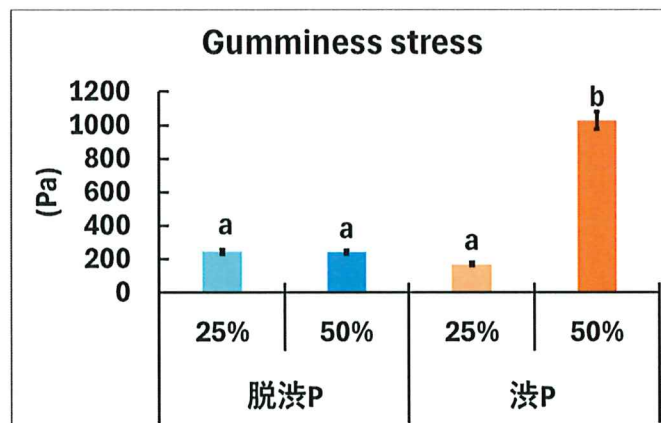


図6 混合ペーストのガム性 (n=4)

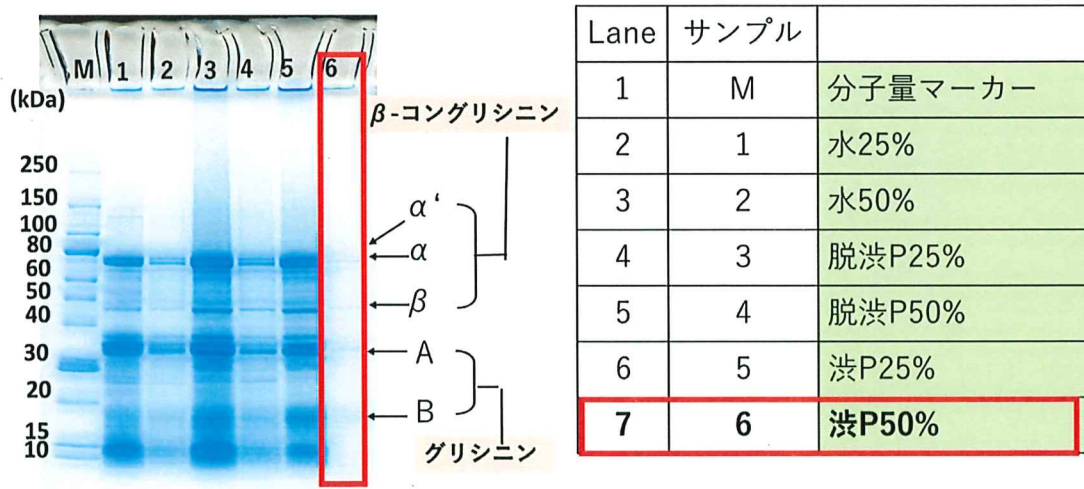


図7 混合ペーストの SDS-PAGE