

真空含侵法により製造した蒸し大豆の抗酸化活性

菊地達矢¹・村中優貴¹・小嶋道之^{1,2}

(受付 : 2021 年 4 月 28 日, 受理 : 2021 年 7 月 23 日)

Antioxidant activity of steamed soybeans produced by the vacuum impregnation method

Tatuya KIKUCHI¹, Yuki MURANAKA¹, Michiyuki KOJIMA^{1,2}

摘 要

大豆と小豆の割合を変えた混合豆に一定量の浸漬液を加えて真空含侵をおこない製造した蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性は、大気圧含侵のみが異なる蒸し大豆のそれに比べ高い値を示した。例えば、大豆 (12 g) と小豆 (48 g) を混合して 240 ml の浸漬液で真空含侵して製造した蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性は、同様の割合で混合して大気圧含侵して製造した蒸し大豆のそれよりも約 1.2 倍高く、プロシアニジン量も約 1.1 倍高い値を示した。さらに小豆の混合割合が異なる場合を比較すると、小豆の混合割合に依存して、蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性は増大した。

また、小豆煮汁を添加して真空含侵して製造した蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性は、小豆煮汁の添加量に依存して増大した。今回行った実験の中では、大豆 30 g にポリフェノール量 150 mg の小豆煮汁を添加した浸漬液 120ml を用いて真空含侵法で製造した蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性が最大値 (約 4.84 $\mu\text{mol Trolox eq./g}$) を示した。この値は、小豆煮汁無添加の大気圧含侵で作成した蒸し大豆 (コントロール) のそれに比べて、約 4.1 倍高い値であった。

キーワード : 小豆煮汁、加工大豆、ポリフェノール、プロシアニジン、機能性

¹ 帯広畜産大学食品科学研究部門

¹ Department of Food Production Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Japan

² 帯広畜産大学人間科学研究部門

² Department of Human Sciences, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Japan

連絡先 : 小嶋道之, kojima@obihiro.ac.jp

Address Correspondence : Michiyuki KOJIMA, kojima@obihiro.ac.jp

緒言

一般に豆類は貯蔵性が良く、カリウムや亜鉛などのミネラルが豊富な栄養価の高い食材である（海妻ら 2003）。日本では、数十種類の豆類を食用にしているが、その代表をあげるとすれば、大豆と小豆である。大豆の加工品は、煮豆、豆腐、納豆、味噌など様々な加工品が作られているが、小豆のそれは煮豆加工品である餡がほとんどである（海妻ら 2003）。大豆や小豆の主成分は顕著に異なっている。すなわち、大豆（*Glycine max*）の主成分はタンパク質や脂質であり、小豆（*Vigna angularis*）のそれは炭水化物や食物繊維で、それらの物理化学的な特徴は、調理加工により変化することが知られている（海妻ら 2003）。豆類を調理加工するときには、通常、数十時間の浸漬処理や加熱途中で渋切り処理をおこなうが、この間に水溶性ポリフェノールなど栄養成分の一部は溶出し、廃棄されている。これまでに、大豆や小豆の生豆の調査において、小豆はポリフェノールを多量に含有しているが大豆（*Glycine max*）のそれはかなり低いことや、加熱加工時に廃棄される小豆煮汁の有効性について検討して、小豆ポリフェノールには生体の酸化防止効果や肝臓保護作用のあることを報告してきた（小嶋ら 2006；Kojima ら 2006；小嶋ら 2007ab；斎藤ら 2007）。今回は、この廃棄されている小豆煮汁や浸漬液などの有効活用方法を探る一環として、大豆加工品の製造過程にそれらを添加することにより、大豆加工品の機能性を向上させる方法について明らかにしようとした。

また、小豆の煮汁や浸漬液を大豆に取り込む方法として、真空含浸法の利用を計画した。この真空含浸法では、種実に含まれる僅かな気体が抜けだすことを助けて、浸漬液の吸水と排水を盛んにして、溶出している機能性物質も種実に再び吸収される方法である。これまでに、茹でた根菜類に酵素類を真空含浸法で浸透させた後に調理を行うことにより、硬い根菜類の軟化・消化性や口腔内触感が改善されるなど、食品物性に影響を与える技術として実用化に成功している（中津ら 2009；2010）。

また最近では、豆類加工品として、煮豆よりも蒸し豆に

注目が集まっていて、サラダのトッピングやおやつ感覚の蒸し豆の商品が増えつつある。Xu ら（2008ab）は、大豆や隠元豆の蒸し豆はそれらの煮豆よりも、いろいろな点で優れていることを報告しているし、初沢ら（2020）は、紫花豆の蒸し豆と煮豆の機能性を比較して、蒸し豆の DPPH ラジカル消去活性は煮豆のそれよりも 2 倍以上高いことを報告している。

本研究では、小豆浸漬液や小豆煮汁を用いて真空含浸法により製造した大豆蒸し豆の機能性向上の有無について、大気圧含浸法との比較により明らかにすることを目的とした。また、近年流通している市販の蒸し豆における機能性の現状についても併せて調査した。

実験方法

1. 試料の調製

大豆は北海道産の音更大豆、小豆は北海道産のエリモ小豆を使用し、蒸し大豆は、以下に示した 2 通りの方法で製造したものを試料とした。

蒸し豆①の製造：小豆と大豆を混合浸漬して真空含浸法により調製した蒸し大豆の製造

表 1 に示したように 6 グループ（A0～A40）の試料（蒸し大豆）を準備した。6 グループの試料の名称は略称記号で示した。すなわち、表 1 に示したように A0（0:1）は小豆 0 g と大豆 60 g、A5（1:2）は小豆 20 g と大豆 40 g、A10（1:1）は小豆 30 g と大豆 30 g、A20（2:1）は小豆 40 g と大豆 20 g、A30（3:1）は小豆 45 g と大豆 15 g、A40（4:1）は小豆 48 g と大豆 12 g で、いずれも豆の合計重量を 60 g とした。また、浸漬水は、いずれも 240 ml の蒸留水を用いた。これらは、真空パック容器（Food Saver, SA2SC22-040）を用いて真空含浸法を組み込み、16 時間、真空条件で浸漬をおこなった。また、比較のために同様に混合した 6 グループの試料を準備して、大気圧条件でも浸漬をおこなって試料を調製した。いずれも、浸漬後の浸漬豆は、真空パックして IH（Panasonic, National KZ-PH3）1200W の上にセットした角形蒸し器（神子島製作所、桃印）で蒸し加熱を 60 分間おこなった。

蒸し豆②の製造：小豆煮汁を浸漬液に添加して真空含侵法により調製した蒸し大豆の製造

200 g の小豆に 600 ml の浸漬水を加えて 1 時間、連続加熱して煮豆を製造した。これをザルで分離して得られた煮汁を本実験に用いた。小豆煮汁に含まれるポリフェノール量は測定後、表 2 に示した小豆ポリフェノール量になるように浸漬液に加え、それを大豆に添加して真空含侵法により、16 時間の真空含侵をおこなった。真空浸漬には、真空パック容器 (Food Saver, SA2SC22-040) を用いた。実験試料は P0 ～ P150 の略称記号で表した (表 2)。いずれも実験に用いた大豆は 30 g、浸漬液量は 120 ml である。略称の P0 は、30 g の大豆に 120 ml の蒸留水 (DW) を加えただけのものでコントロールである。また、P30 の略称は、30 g の大豆に浸漬液 120 ml (30 mg の小豆ポリフェノール相当を含む小豆煮汁を蒸留水に添加して調製した) を加えたものを表している。以下同様に、いずれも大豆は 30 g を用い、浸漬液がそれぞれ異なる。す

なわち、P60 は小豆ポリフェノールを 60 mg 相当含む小豆煮汁を添加して調製したもの、P90 は小豆ポリフェノールを 90 mg 相当含む小豆煮汁を添加して調製したもの、P120 は小豆ポリフェノールを 120 mg 相当含む小豆煮汁を添加して調製したもの、P150 は小豆ポリフェノールを 150 mg 相当含む小豆煮汁を添加して調製したものを表している。浸漬後の浸漬豆は、いずれも同様に真空パックして IH (Panasonic, National KZ-PH3) 1200W の上にセットした角形蒸し器 (神子島製作所、桃印) で蒸し加熱を 60 分間おこなった。また、製造してできた蒸し豆の略称も、同じものを用いた。

分析した市販の蒸し豆は、帯広市内のスーパーより購入した「蒸しサラダ豆」(製造者；マルヤナギ小倉屋) および「おやつ蒸し豆」(製造者；マルヤナギ小倉屋) である。それぞれ 1 袋に含まれる蒸し豆の種類毎に分別して、各々の蒸し豆の数量や重量を測定した後、それぞれの抽出液を調製した。

表 1 蒸し豆①の実験材料と略称；真空含侵法および大気圧含侵法に用いた小豆と大豆の重量 (g) および蒸留水量 (ml)

略称 (小豆:大豆)	小豆 (g)	大豆 (g)	蒸留水 (ml)
A0 (0:1)	-	60	240
A5 (1:2)	20	40	240
A10 (1:1)	30	30	240
A20 (2:1)	40	20	240
A30 (3:1)	45	15	240
A40 (4:1)	48	12	240

表 2 蒸し豆②の実験材料と略称；真空含侵法に用いた小豆煮汁量 (ml)、蒸留水量 (ml)、大豆重量 (g) および小豆煮汁中のポリフェノール量 (mg)

略称	小豆煮汁 (ml)	蒸留水 (ml)	大豆 (g)	小豆煮汁ポリフェノール量 (mg)
P0	0	120	30	0
P30	18.4	101.6	30	30
P60	36.7	83.3	30	60
P90	55.0	65.0	30	90
P120	73.4	46.6	30	120
P150	91.7	28.3	30	150

2. 抽出液の作成

製造した蒸し大豆 (A0 - A40)、(P0 - P150) およびコントロールの蒸し大豆、市販の蒸し大豆は、凍結乾燥 (凍結乾燥機、EYELA FDU-830) 後にミキサーで粉末化して、4 倍容の 80% エタノールを加えて 30 分間超音波抽出をおこなった。3,000 rpm、10 分間の遠心分離により上清を回収し、その残渣には同様の抽出溶媒で 2 回、70% アセトンで 1 回、それぞれ超音波抽出をおこない、得られた上清は全て合わせて、蒸し大豆の抽出液とした。

3. DPPH ラジカル消去活性の測定

各抽出液の DPPH ラジカル消去活性の測定は、Brand-Williams らの方法 (1995) に従った。すなわち、96 穴マイクロプレートに試料をそれぞれ 50 μ l ずつ分注して、エタノールを加えて全量を 150 μ l に調製し、DPPH 溶液 150 μ l を加えてよく混合後、暗所、15 分間静置した。プレートリーダーにより、530nm の吸光値を求めた。DPPH ラジカル消去活性は、トロロックス相当量 (μ mol/g) として表した。

4. ポリフェノール量の測定

ポリフェノール量の測定は、Folin-Ciocalteu 法によって測定した (ISO 14502-1, 2005 ; Kojima ら 2006)。すなわち、1.5 ml のエッペンチューブに試料 0.1 ml、蒸留水 0.3 ml、Folin 試薬 0.4 ml を加えてよく攪拌後、3 分間静置した。その後 10% 炭酸ナトリウム水溶液 0.4 ml を加えて攪拌して、湯浴 30°C で 30 分間反応させた。反応終了後に 3,000 rpm で 10 分間の遠心分離により得られた上清は、分光光度計を用いて 760 nm の吸光度を測定した。ポリフェノール量は、カテキン相当量 (mg/g) として表した。

5. プロシアニジン量の測定

プロシアニジン量の測定は、バニリン硫酸法により測定した (菅原ら 2005 ; 伊藤ら 2011)。すなわち、蓋つき試験管に一定量の試料とメタノールを加えて総量を 0.5 ml として、1% バニリン/メタノール 0.5 ml と 25% 硫酸

/メタノール 0.5 ml を加えてよく攪拌して、30°C で 30 分間インキュベートした。3,000 rpm、10 分間、遠心分離をおこない得られた上清は、分光光度計を用いて 500 nm の吸光度を測定した。プロシアニジン量は、カテキン相当量 (mg/g) として表した。

6. メラノイジン量の測定

メラノイジン量の測定は、Martins ら (2003) および姜ら (2019) の報告に従っておこなった。メラノイジン量は、乾燥重量 (1 g) 当たりのメラノイジン量 (μ g) として表した。

7. 統計分析

それぞれの値は 3 回以上の平均値 \pm 標準偏差で表した。有意差検定は SAS Enterprise Guide 5.1 を使用し、Turkey の多重比較検定をおこなった。 p 値は 0.05 として、アルファベットが同じ場合は有意差なし、異なる場合は有意差ありとした。また、プロシアニジン含量と抗酸化活性の関連について相関分析を行った。

実験結果および考察

1. 小豆と大豆を混合して真空含浸法により製造した蒸し大豆①の機能性

真空含浸、もしくは大気圧含浸をおこなった後に蒸し大豆を製造して、それぞれの蒸し豆抽出液の DPPH ラジカル消去活性およびそれに関係する物質としてプロシアニジン量を比較した。小豆は機能性の高い物質であるポリフェノール類を多く含んでいるが、大豆には小豆に含まれる機能性物質を全く含んでいないので、大豆と小豆を同時に混合して浸漬して、小豆から溶出した機能性物質を効率よく大豆に移行させることにより、機能性の高い蒸し大豆の評価ができると考えた。

表 1 に従って、小豆と大豆の混合割合が異なる実験試料を真空含浸および大気圧含浸によりそれぞれ製造した蒸し大豆抽出液は、DPPH ラジカル消去活性を測定した。その結果、大豆に対する小豆の割合を高くした実験試

料 A5 (1:2) から A40 (4:1) の真空含侵法で製造した蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性は、大気圧含侵法で製造したそれらの値よりも、いずれも高い値を示した (表 3)。また、A0 (0:1) の DPPH ラジカル消去活性は $11.7 \pm 0.9 \mu\text{mol}/10 \text{g}$ であり、真空含侵法で製造した A40 (4:1) の蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性 ($35.3 \pm 0.3 \mu\text{mol}/10 \text{g}$) はこの中で最大値を示した。また、大気圧含侵法により製造した場合の A40 (4:1) のそれは $29.5 \pm 0.2 \mu\text{mol}/10 \text{g}$ を示した。A40 (4:1) の DPPH ラジカル消去活性と A0 (0:1) の DPPH ラジカル消去活性の比率は、真空含侵法で製造した場合には約 3.0 倍を示したが、大気圧含侵法で製造したそれは約 2.5 倍で、真空含侵法で製造した蒸し豆の方が、DPPH ラジカル消去活性が高い。これらの結果は、真空含侵法で調製した蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性の方が、大気圧含侵法により調製した場合のそれらよりも高い値を示しており、真空含侵法により蒸し大豆の機能性を上昇させられることを示している (表 3)。また、A5 (1:2) から A30 (3:1) の真空含侵法で製造した蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性と大気圧含侵法で製造したそれらの値の比率 (真空含侵法での値/大気圧含侵法での値) は、A5 (1:2) では 2.2、A10 (1:1) では 1.4、A20 (2:1) では 1.0、A30 (3:1) では 1.3 であり、A5 (1:2) の時の比率が最も大きく、両者の値の違いとして認められた (表 3)。これらの結果は、大豆と

小豆の混合割合が低い時の DPPH ラジカル消去活性の上昇効果は、真空含侵法において顕著であることを示している、低い濃度でも効率よく機能性を上昇させられることを示している。これは真空含侵法の利点の一つであると考えている。

真空含侵法における A40 (4:1) の蒸し大豆抽出液のプロシアニジン量は $1.02 \pm 0.01 \text{mg}/10 \text{g}$ で、調べた中では最も高い値を示し、A0 (0:1) のその値と比較すると約 1.7 倍高かった (表 3)。また、大豆に対し小豆の混合割合が高くなる A5 (1:2) から A40 (4:1) で、蒸し大豆抽出液のプロシアニジン量も増大した。すなわち、真空含侵法により製造した蒸し大豆のプロシアニジン量の変動は、加える小豆の割合に比例して増大する傾向が認められ、DPPH ラジカル消去活性の場合と同様の傾向を示した。また、大気圧含侵法におけるプロシアニジン量は、A40 (4:1) の蒸し大豆抽出液のプロシアニジン量が最も高い値を示し、 $0.91 \text{mg}/10 \text{g}$ であった。

以上の事から、真空含侵法で製造した蒸し大豆抽出液の DPPH ラジカル消去活性およびプロシアニジン量は、大気圧含侵法で製造した蒸し大豆抽出液のそれらよりも高い値を示すことが明らかである。また、真空含侵法により製造した蒸し大豆のプロシアニジン量は、大気圧含侵法により製造した蒸し大豆抽出液のそれに比べて、最大で約 1.4 倍増大した (表 3)。

表 3 蒸し豆①：真空含侵法および大気圧含侵法により製造した大豆蒸し豆抽出液に含まれる DPPH ラジカル消去活性とプロシアニジン量

略称	真空含浸により調製した蒸し大豆		大気圧含浸により調製した蒸し大豆	
	DPPHラジカル消去活性 ($\mu\text{mol}/10 \text{g}$)	プロシアニジン量 ($\text{mg}/10 \text{g}$)	DPPHラジカル消去活性 ($\mu\text{mol}/10 \text{g}$)	プロシアニジン量 ($\text{mg}/10 \text{g}$)
A0	11.7 ± 0.9 c	0.26 ± 0.01 f	11.7 ± 0.9 b	0.26 ± 0.01 d
A5	21.3 ± 0.3 b	0.59 ± 0.01 e	9.7 ± 0.4 b	0.48 ± 0.01 c
A10	22.7 ± 0.4 b	0.76 ± 0.01 d	15.9 ± 0.3 b	0.69 ± 0.01 b
A20	27.6 ± 0.3 ab	0.81 ± 0.01 c	26.5 ± 0.1 a	0.89 ± 0.01 a
A30	33.1 ± 0.2 a	0.93 ± 0.01 b	26.4 ± 0.1 a	0.88 ± 0.01 a
A40	35.3 ± 0.3 a	1.02 ± 0.01 a	29.5 ± 0.2 a	0.91 ± 0.01 a

アルファベットが同じ場合は有意差なし、異なる場合は有意差あり ($p < 0.05$)を示している。

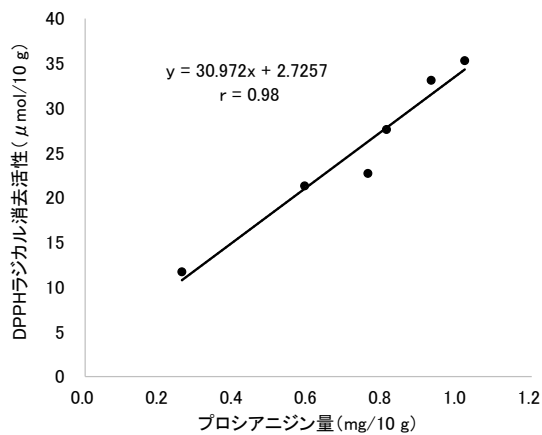
図1 (A) に小豆と大豆の混合割合の異なる試料 (A0 (0:1) から A40 (4:1)) を用いて、真空含侵法により製造した蒸し大豆抽出液のプロシアニジン量と DPPH ラジカル消去活性の相関関係を示した。両者の間には、相関係数 $r = 0.98$ と高い正の相関が認められた。また、大気圧含侵法で製造した蒸し大豆抽出液のプロシアニジン量と DPPH ラジカル消去活性の相関関係は、図1 (B) に示した。大気圧含侵法においても、相関係数 $r = 0.91$ を示し、両者の間に高い正の相関が認められた。真空含侵法、大気圧含侵法のいずれにおいても小豆の添加量に依存して DPPH ラジカル消去活性が増大することが示された。若干ではあるが、真空含侵法の方が大気圧含侵法に比べ優れていることを示している。

また、食材の加熱条件によっては、加工過程においてアミノカルボニル反応が起きて、メラノイジン類が生じ

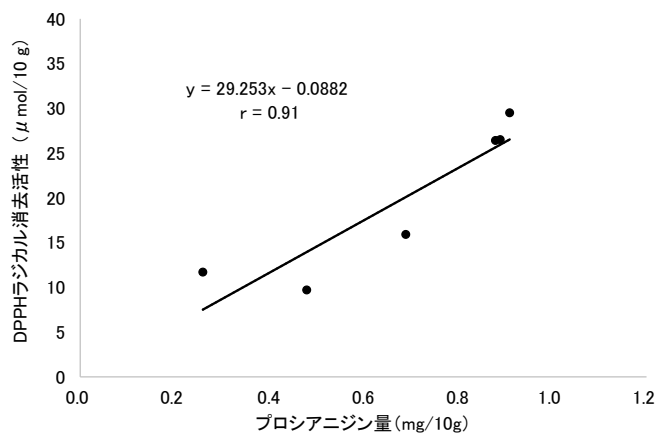
る。メラノイジンは、生理作用のある物質として知られている。メラノイジンは、*in vitro* 実験において、活性酸素消去活性などの抗酸化作用のあることやヘテロ環アミノ化合物（発がん物質）に対する脱変異原活性などを有することが報告されている（加藤ら 1975；本間 2005）。本実験において、メラノイジンが抗酸化活性に寄与している可能性も推定されたので、真空含侵法により製造した蒸し大豆抽出液と大気圧含侵により製造した蒸し大豆抽出液のメラノイジン量を測定した。その結果、いずれもごく微量（約 $30 - 35 \mu\text{g/g}$ ）検出されたが、真空含侵法と大気圧含侵法で製造した大豆抽出液のいずれにおいても、顕著な数値の違いは認められなかったことから、本実験においては、メラノイジン量は DPPH ラジカル消去活性の上昇にほとんど寄与していないと推察した。

図1 蒸し豆①；真空含侵法および大気圧含侵法により製造した大豆蒸し豆抽出液に含まれる DPPH ラジカル消去活性とプロシアニジン量の相関関係

(A) 真空含侵法により製造した蒸し大豆



(B) 大気圧含侵法により製造した蒸し大豆



2. 大豆に濃度の異なる小豆煮汁を浸漬液として添加して真空含侵をおこない製造した蒸し大豆②の機能性
小豆煮汁のポリフェノール濃度を覚えて添加した浸漬液を用いて真空含侵法により製造した蒸し大豆抽出液の DPPH ラジカル消去活性は、小豆煮汁の添加量に依存して増大した（表 4）。すなわち、大豆 30g を用いて蒸留水のみ浸漬液で真空含侵法により製造した蒸し大豆抽出液

P0 の DPPH ラジカル消去活性は、 $11.7 \pm 0.9 \mu\text{mol}/10 \text{g}$ であったが、P30 の DPPH ラジカル消去活性は $32.1 \pm 0.6 \mu\text{mol}/10 \text{g}$ を示し、P0 のその 2.7 倍であった。また、最大値を示した P150 のそれは $48.4 \pm 0.3 \mu\text{mol}/10 \text{g}$ で、P0 の 4.1 倍であり、浸漬液の小豆煮汁のポリフェノール濃度に依存して DPPH ラジカル消去活性が増大していた。
小豆煮汁のポリフェノール濃度の異なるいろいろな浸

漬液と大豆を用いて真空含侵法により製造した蒸し大豆抽出液のプロシアニジン量と DPPH ラジカル消去活性の相関関係を図 2 に示した。相関係数は $r = 0.98$ を示し、高い正の相関が認められた。これらの結果は、小豆煮汁のプロシアニジン量に依存して、蒸し大豆の DPPH ラジカル消去活性が増大していることを示している。

ポリフェノールを添加した食品の機能性に関して、いくつかの報告がある。クッキーを作るときに大麦糠ポリフェノール抽出物を添加することにより、クッキーの酸化が抑制され (POV 上昇の抑制)、さらにクエン酸の同時添加により、より強い抗酸化性を示したことを報告している (玉川ら 1999)。また同じ論文において、天然色素飲料に大麦糠ポリフェノール抽出物を添加することにより、色素の退色抑制効果を示したと報告している。これらのポリフェノール添加による抗酸化性の上昇効果は、抗酸化ビタミンであるビタミン E やビタミン C と同等あるいはそれ以上の効果であった。また、白米に小豆を添加した赤飯の DPPH ラジカル消去活性、ポリフェノール量およびプロシアニジン量を白米のそれらと比較している (折田ら 2016)。赤飯の DPPH ラジカル消去活性は $3.3 \mu\text{mol/g}$ であったが、白米のそれは検出閾値以下であった。また、赤飯のポリフェノール量は白米飯のその約 3.8 倍高い値で、赤飯のプロシアニジン量は白米飯のそ

れの約 2.7 倍高い値であった。すなわち、小豆から溶出した煮汁が白米の抗酸化活性を上昇させたことを考察している。

また、小豆や大豆煮汁を添加してチーズ製造をおこなうと、凝乳時間が変化し、収量が低下することが報告されている (三浦ら 2017)。その原因として、牛乳中の遊離カルシウムを豆類のポリフェノールがキレートすることやカゼインなどのミルクタンパク質とポリフェノールとが結合することにより、カゼインミセルの形成阻害が起きることを指摘している (Sandra ら 2012)。このようにポリフェノールの添加は、食品に良い影響を及ぼす場合もあれば、良くない影響を及ぼす場合もあることに注意を払う必要がある。

今回は小豆の煮汁 (ポリフェノール) を添加して、真空含侵法で蒸し大豆を製造することにより、大豆蒸し豆の機能性の上昇を明らかにしたが、ポリフェノールの添加が食品加工品に及ぼす食性的・栄養学的な影響については、さまざまな検討を加えた上で商品化を検討する必要がある。

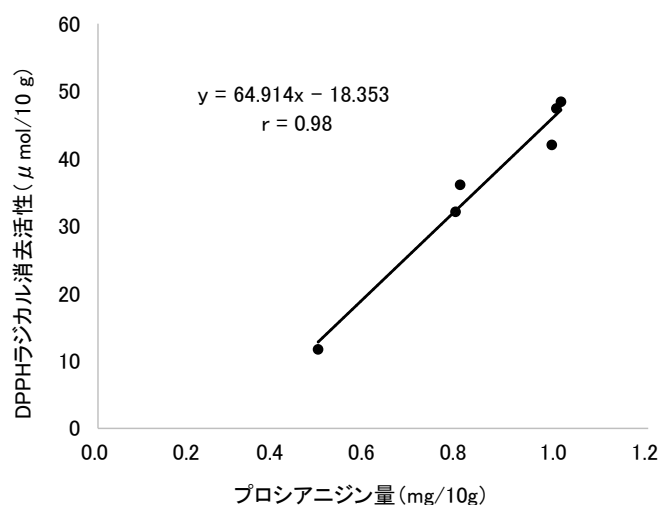
また、今回用いた真空含侵法は、さまざまな食材において機能性の付与を可能にする方法であるとともに、食材物性の改良などさまざまに応用される方法であるので、今後の展開が期待される。

表 4 蒸し豆②；小豆煮汁を用いて真空含侵法により製造した大豆蒸し豆抽出液に含まれる DPPH ラジカル消去活性とプロシアニジン量

略称	DPPHラジカル消去活性 ($\mu\text{mol}/10\text{g}$)	プロシアニジン量 ($\text{mg}/10\text{g}$)
P0	11.7 ± 0.9 e	0.48 ± 0.01 c
P30	32.1 ± 0.6 d	0.78 ± 0.01 b
P60	36.1 ± 0.8 cd	0.79 ± 0.01 b
P90	42.0 ± 0.3 bc	0.99 ± 0.02 a
P120	47.4 ± 0.2 ab	1.00 ± 0.01 a
P150	48.4 ± 0.3 a	1.01 ± 0.01 a

アルファベットが同じ場合は有意差なし、異なる場合は有意差あり ($p < 0.05$) を示している。

図2 蒸し豆②；小豆煮汁を用いて真空含浸法により製造した大豆蒸し豆抽出液に含まれる DPPH ラジカル消去活性とプロシアニジン量の相関関係



3. 市販の蒸し豆における機能性の特徴

市販されている蒸し豆の機能性に関する現状を知る目的で、袋中に複数の蒸し豆を混在させて提供している2種類の蒸し豆商品の DPPH ラジカル消去活性を分析した。分析試料の1つは「蒸しサラダ豆」（製造者；マルヤナギ小倉屋）で、1袋中に蒸し豆が70g含まれていて、全体の DPPH ラジカル消去活性は $34.8 \mu\text{mol}$ 、もう1つは「おやつ蒸し豆」（製造者；マルヤナギ小倉屋）で1袋中に蒸し豆85gが含まれていて、全体の DPPH ラジカル消去活性は $7.6 \mu\text{mol}$ であった。「蒸しサラダ豆」には、青エンドウ（27粒）、ヒヨコ豆（27粒）、黒大豆（6粒）、赤インゲン（19粒）、大豆（12粒）の5種類の蒸し豆が入っており、各々の蒸し豆の DPPH ラジカル消去活性は顕著に異なっていた。最も高い DPPH ラジカル消去活性を示したのは赤インゲン ($11.7 \pm 1.9 \mu\text{mol}/10\text{g}$ 、全抗酸化活性の約60%を占める)、次いで黒大豆 ($5.5 \pm 1.4 \mu\text{mol}/10\text{g}$) であった。また「おやつ蒸し豆」の袋中には青エンドウ（21粒）、ヒヨコ豆（28粒）、黒大豆（5粒）、紅大豆（14粒）、大豆（19粒）の5種類の蒸し豆が入っており、最も高い DPPH ラジカル消去活性を示したのは黒大豆 ($5.5 \pm 0.4 \mu\text{mol}/10\text{g}$ 、全体の約60%)、次いで紅大豆 ($3.8 \pm 0.4 \mu\text{mol}/10\text{g}$) であった。青エンドウ、ヒヨコ豆および大豆蒸し豆の DPPH ラジカル消去活性は、

いずれも検出限界以下であった。このように、蒸し豆の種類によって抗酸化活性は顕著に異なっており、1袋中に入っている蒸し豆の数量にも違いのあることから、機能性の高い蒸し豆を食べるチャンスは偶然によることになる。この点を改善するためには、袋に入っている蒸し豆の中で機能性の低い豆、今回は大豆に注目したが、機能性の低いいろいろな蒸し豆の機能性を上昇させることにより、蒸し豆商品の全体の機能性を上げることが、商品自体の価値を高めることにつながる一助になるであろう。

謝 辞

この研究は、北海道豆類価格安定基金協会（公益財団法人）の公募事業である平成31年度豆類調査研究助成事業として助成をいただき実施することができました。ここに深謝いたします。

参考文献

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and

- Technology. 28 (1) : 25-30
- 初沢葵, 慈照江, 小嶋道之. 2020. 加工処理方法が異なる紫花豆の抗酸化活性の比較. 帯大研報 41 : 23-29
- 本間清一. 2005. メラノイジンに関する食品化学的研究. 日本栄養・食糧学会誌 58(2) : 85-98
- ISO 14502-1. 2005. Determination of substances characteristic of green and black tea - Part1: Content of total polyphenols in tea - Colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent.
- 伊藤満敏, 大原絵里, 小林 篤, 山崎彬, 梶亮太, 山口誠之, 石崎和彦, 奈良悦子, 大坪研. 2011. 有色素米の抗酸化能とポリフェノール含量の測定. 日本食品科学工学会誌 58(12) : 576-582
- 海妻矩彦, 喜多村啓介, 酒井真次. 2003. 食用マメ類の科学 (ISBN-10:4-8425-0347-5), 第8章 流通加工、pp. 493-566, 第9章 栄養生理機能. pp. 567-626, 養賢堂, 東京
- 加藤博通, 石川久隆, 樫尾一, 土田広信, 藤巻正生. 1975. メラノイジンの酸化分解および還元生成物の抗酸化性について. 日本農芸化学会誌 49 (3) : 179-183
- 小嶋道之, 森田武志, 齋藤優介, 西繁典. 2006. 8種類の食用豆類に含まれるポリフェノールと抗酸化活性. 帯大研報 27 : 23-28
- Kojima M, Yamashita S, Nishi S, Saito Y and Maeda R. 2006. Antioxidative effect and liver protective action of Adzuki polyphenol. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 53(7) : 386-392
- 小嶋道之, 西繁典, 齋藤優介, 弘中和憲, 小疇浩, 前田龍一郎. 2007a. 小豆ポリフェノールの単回および継続投与が血中グルコース濃度に及ぼす影響. 日本食品科学工学会誌 54(1) : 50-53
- 小嶋道之, 西繁典, 齋藤優介, 弘中和憲, 小疇浩, 前田龍一郎. 2007b. 小豆ポリフェノール飲料による高脂肪食投与雌マウスの体重増加抑制. 日本食品科学工学会誌 54(5) : 229-232
- 姜成宇, 慈照紅, 小嶋道之. 2019. 長期間熟成した黒大豆及び金時豆を添加した米味噌の抗酸化活性とメラノイジン. 帯大研報 40 : 34-39
- Martins SIFS, Van Boeke MAJS. 2003. Melanoidins extinction coefficient in the glucose/glycine Maillard reaction. Food Chemistry, 83:135-142
- 三浦孝之, 高久未樹, 青木哲也, 阿久澤良造. 2017. 大豆及び小豆の煮汁を利用した新規チーズの製造について. 日本食品科学工学会誌 64(3) : 157-161
- 中津沙弥香, 柴田賢哉, 石原理子, 坂本宏司. 2009. 真空包装機を用いた凍結減圧酵素含浸法による形状保持軟化食材の作製. 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌 13(2) : 120-127
- 中津沙弥香, 柴田賢哉, 坂本宏司. 2010. 凍結含浸法により軟化処理したレンコンの消化性. 日本食品科学高学会誌 57(10) : 434-440
- 折田綾音, 船越淳子, 武曾(矢羽田)歩, 山本久美, 太田英明. 2016. 豆類中のフェノール性成分ならびに抗酸化活性に及ぼす加熱の影響. 中村学園大学・中村学園大学短期大学部研究紀要 48 : 163-169
- 齋藤優介, 西繁典, 小疇浩, 弘中和憲, 小嶋道之. 2007. 豆類ポリフェノールの抗酸化活性ならびに α -アミラーゼおよび α -グルコシダーゼ阻害活性. 日本食品科学工学会誌 54(12) : 563-567
- Sandra S. Ho M. Alexander M. and Corredig M. 2012. Effect of soluble calcium on the renneting properties of casein micelles as measured by rheology and diffusing wave spectroscopy. Journal Dairy Science. 95(1):75-82
- 菅原晃美, 沖智之, 西場洋一, 須田郁夫, 小林美緒, 永井沙樹, 佐藤哲夫. 2005. 赤米に含まれるプロアントシアニジンの簡易な測定方法, 九州沖縄農業研究成果情報 20 : 543-544
- 玉川浩司, 小林敏樹, 飯塚崇史, 池田彰男, 小池肇, 長沼慶太, 小宮山美弘. 大麦糠ポリフェノール抽出物の抗酸化能と食品への応用. 日本食品保蔵科学会誌 1999. 25(6) : 271-276

Xu BJ, Chang SKC. 2008a. Total phenolic content and antioxidant properties of eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods. *Journal of Food Science*, 73(2): 19-27

Xu BJ, Chang SKC. 2008b. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 56(16): 7165-7175

solution with 30 g of soybeans and 150 mg of Adzuki bean cooking water with polyphenol content showed the maximum value (about 4.84 $\mu\text{mol Trolox eq./g}$). This value was about 4.1 times higher than that of steamed soybeans made by atmospheric pressure impregnation without Adzuki bean cooking water (control).

Keywords: Adzuki beans cooking water, processed soybeans, polyphenols, procyanidin, functional properties

Abstract

The DPPH radical scavenging activity of steamed soybeans, produced by vacuum impregnation of mixed soybeans with different proportions of soybeans and Adzuki beans with a certain amount of soaking solution, was higher than that of steamed soybeans with only different parts of atmospheric pressure impregnation. For example, the DPPH radical scavenging activity of steamed soybeans made by mixing soybeans (12 g) and Adzuki beans (48 g) and vacuum impregnating them with 240 ml of soaking solution was about 1.2 times higher than that of steamed soybeans made by mixing them in the same proportion and impregnating them under atmospheric pressure, and the procyanidin content was also about 1.1 times higher. Furthermore, when comparing different proportions of Adzuki beans in the mixture, it was also found that the increase of the DPPH radical scavenging activity of steamed soybeans was dependent on the proportion of Adzuki beans in the mixture.

Increase of the DPPH radical scavenging activity of steamed soybeans produced by vacuum impregnation with the addition of Adzuki bean cooking water was dependent on the amount of Adzuki bean cooking water added. Among the experiments conducted in this study, the DPPH radical scavenging activity of steamed soybeans produced by the vacuum impregnation method using 120 ml of soaking