

# ひよこ豆豆腐(ビルマ豆腐)の特性と 加工方法の開発

山田 徳広

## 1. 目的

超高齢社会を迎えた我が国では、高齢者の生活習慣病、低栄養、咀嚼・嚥下障害などが問題となっている<sup>1)</sup>。そこで、栄養価が高く、咀嚼・嚥下障害に対応したゲル状食品の開発が重要となる。

豆腐は東アジアから東南アジアにかけて広く食されている豆乳を固めた加工食品であり、日本や中国では、主に大豆豆乳に凝固剤を加えて固めたものが食されている<sup>2)</sup>。ひよこ豆はでんぷんとたんぱく質を多く含む他、ビタミンB<sub>1</sub>、B<sub>6</sub>、葉酸、亜鉛を多く含んでおり、世界各地で食されている<sup>3,4)</sup>。

ミャンマーにはビルマ豆腐というひよこ豆から抽出した豆乳や、ひよこ豆の粉を水に溶かした液を加熱・冷却することによって固めたゲル状食品がある<sup>5)</sup>。筆者が作成してみたところ、ひよこ豆豆腐の食感は日本の豆腐とは異なりゴマ豆腐に近いものであった。

これまでに、ひよこ豆豆腐の特性に関する研究は全く無く、筆者が種々の条件で作

成してみたところ、ひよこ豆豆腐は作成条件によって様々な硬さのものが調整できることが分かった。このため、ひよこ豆豆腐の作成方法を工夫する事によって栄養価が高く、高齢者の咀嚼・嚥下機能に対応したゲル状食品が開発出来るのではないかと考えられた。本稿では、公益財団法人日本豆類協会からの助成によって実施したひよこ豆豆腐に関する研究の成果を紹介する。

## 2. 方法

### (1) ひよこ豆

三幸食品(株)(東京)より2017年カナダ・サスカチュワン州産カブリ種を提供して頂いた。

### (2) ひよこ豆豆腐の調製

ひよこ豆200gに蒸留水600gを加え、4℃で24時間浸漬した後ミキサーMX-152SP-W(パナソニック(株)大阪)を用いて9,700rpmで30秒、1分、3分、5分、10分の条件で粉碎し、こし布袋(高儀(株)、三条)で濾した。予備実験の結果、日本食品標準成分表中の大豆豆腐のたんぱく質含量である約5g/100gのたんぱく質含量<sup>3)</sup>の豆乳が得られたことから、この配合割合

を採用した。

### (3) 一般成分

一般成分は日本食品機能分析研究所（福岡）にて分析した。

### (4) 糊化特性

糊化特性は、ラピッド・ビスコ・アラナイザー(RVA)(RVA-Super4,Newport Scientific, USA)により測定した。所定の容器に試料30mLを加え、初期温度50℃から1分間に6℃の割合で95℃まで加熱し、同温度で5分間保持した後に1分間に6℃の割合で50℃まで温度を低下させた。

### (5) 硬さ応力

RVA試験に供した試料を4℃で12時間放置し、多機能物性測定装置RE-3305（山電（株）,東京）を用いてゲルの硬さ応力を測定した。プランジャーは直径16mmの円形のものを用い、圧縮速度1mm/sec、クリアランスは50%とした。

### (6) 酵素処理

粉碎時間1分の豆乳に $\alpha$ -アミラーゼまたはトリプシンを1%濃度で添加し、各酵素の最適温度で12時間反応させた。

### (7) 豆乳中のでんぷんとグルコース量

豆乳中のでんぷんは総澱粉量分析キット(AA/AMG)(K-TSTA-50A)(Megazyme,Ireland)、グルコースの量はD-グルコース分析キット(GOPOD法)(K-GLUC)(Megazyme,Ireland)を用いて分析した。

### (8) ヨウ素溶液による豆乳中のでんぷんの染色

豆乳5mLに0.01規定のヨウ素溶液100 $\mu$ Lを加えて4℃で1時間放置したものの状態

を観察した。

### (9) SDSポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)

豆乳中のでんぷん質の状態を12.5%のマルチゲルII（コスモバイオ,東京）を用いてLaemmli法によるSDS-PAGEにより評価した。

### (10) 薄層板クロマトグラフィー(TLC)

豆乳中の糖質の状態を、シリカゲル60Gを塗抹した薄層板を用い、展開液（2-プロパノール：酢酸：水=4：1：1）で展開した後に、アニリン2mL、アセトン100mL、80%リン酸15mLの混合液にジフェニルアミン2gを溶かした発色液で発色して評価した。

### (11) 豆乳中のでんぷんの抽出

豆乳を4℃で24時間放置した後、5倍容の0.1M水酸化ナトリウム水溶液と1/10容のトルエンを加えて11時間攪拌した。上澄み液をデカンテーションした後、沈殿に10倍容の蒸留水を加えて攪拌し、ろ紙No.2で吸引ろ過した。残差に5倍容のメタノールを加えて室温で15時間脱脂し、ろ紙No.2で吸引ろ過をした沈殿を減圧乾燥したものを抽出でんぷんとして用いた。

## 3. 結果

### (1) ひよこ豆並びにひよこ豆豆乳の栄養価

表1に今回用いたひよこ豆の成分値と、日本食品標準成分表に記載された大豆の成分値を記載した。大豆の成分値は国産、米国産、中国産の平均値とした。今回用いたひよこ豆の成分値は、日本食品標準成分表

の値3) とほぼ同じとなり、大豆に比べて炭水化物の値が高く、たんぱく質、脂質、灰分の値が低くなった。

表2に今回作成したひよこ豆乳の成分値、表3に日本食品標準成分表に記載されている大豆豆腐並びに類似食品の成分値を示した。ひよこ豆豆腐は、ひよこ豆豆乳を加熱して凝固させたものであることから、水分の若干の減少はあるものの、ひよこ豆豆乳とほぼ同じ成分値になるものと考えた。ひよこ豆豆乳に関しては、たんぱく質は概ね5g/100g、脂質含は概ね1.5g/100g、灰分は概ね0.6g/100gで、粉碎時間の影響は認められなかった。炭水化物の値は、粉碎時間3分以降、粉碎時間が長くなるにつ

れて低くなった。その一方で、水分の値は上昇した。

粉碎時間1分のひよこ豆豆乳（たんぱく質含量5g/100g）を用いて他の類似食品の成分との比較をした場合、炭水化物含量は大豆豆腐の約4倍の8.2g/100gで、9.1g/100gのごま豆腐に近いものであった。ごま豆腐は高炭水化物である一方で1.5g/100gと、低たんぱく質である。ひよこ豆豆腐は大豆豆腐に近いたんぱく質含量に調整した場合、ごま豆腐に近い炭水化物含量になることが分かった。脂質含量については、他のどの類似食品に比べても低く、大豆豆腐の半分未満であった。

表1 ひよこ豆と大豆の成分比較（乾燥豆100gあたり）

今回用いたひよこ豆		大豆	
水分	12.6g	水分	12.2g
たんぱく質	19.7g	たんぱく質	33.2g
脂質	5.5g	脂質	20.3g
炭水化物	59.7g	炭水化物	29.7g
灰分	2.5g	灰分	4.6g

※食品成分表の国産・米国産・中国産の平均値

表2 ひよこ豆豆乳の成分（g/100g）

粉碎時間	30秒	1分	3分	5分	10分
水分	85.2	84.7	86.1	86.6	87.4
たんぱく質	5.0	5.0	5.3	5.0	5.1
脂質	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5
炭水化物	7.8	8.2	6.5	6.3	5.4
灰分	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

表3 大豆豆腐、たまご豆腐、ごま豆腐の成分（g/100g）

	木綿豆腐	絹ごし豆腐	ソフト豆腐	大豆豆腐平均	充てん豆腐	たまご豆腐	ごま豆腐
水分	86.8	89.4	88.9	88.4	88.6	85.2	84.8
たんぱく質	6.6	4.9	5.1	5.5	5.0	6.4	1.5
脂質	4.2	3.0	3.3	3.5	3.1	5.0	4.3
炭水化物	1.6	2.0	2.0	1.9	2.5	2.0	9.1
灰分	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	1.4	0.2

※2019年における日本食品標準成分表2015年版（七訂）

## (2) 豆乳の糊化特性

図1にRVA試験による豆乳の糊化特性の結果を示した。粉碎時間30秒と1分が高い粘度上昇を示したのに対し、3分、5分、10分と粉碎時間を長くすると共にその値は小さくなった。特に1分と3分の間の差が大きくなった。

## (3) 硬さ応力

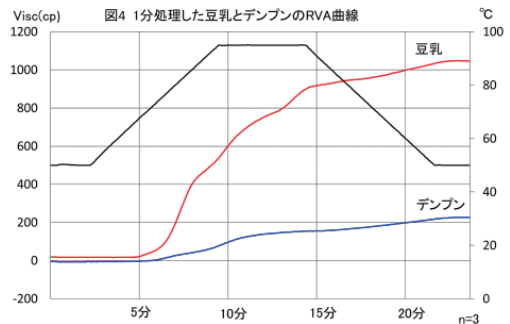
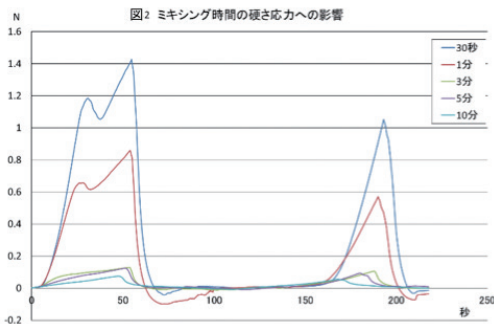
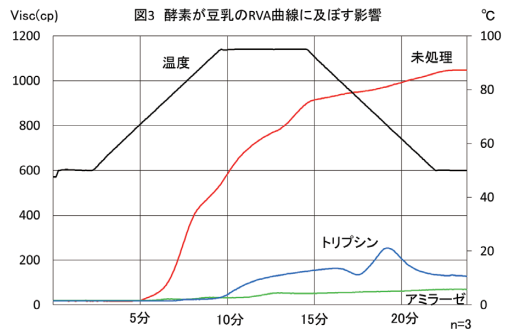
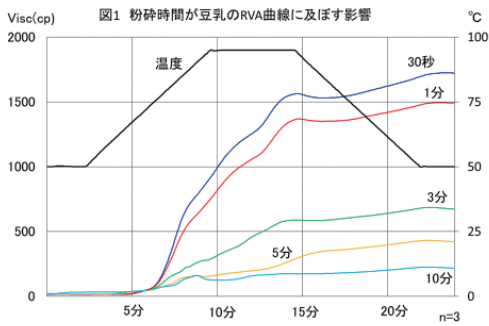
硬さ応力の結果を図2に示した。硬さ応力もRVA試験と同様の傾向を示したが、30秒と1分との差、1分と3分との間の差がより大きくなった。

## (4) $\alpha$ -アミラーゼとトリプシンの影響

図3に $\alpha$ -アミラーゼとトリプシンの影響を示した。 $\alpha$ -アミラーゼで処理した場合、

粘度はほとんど上昇せず、ゲルも形成しなかった。トリプシンで処理した場合、 $\alpha$ -アミラーゼで処理した場合と比べて若干粘度は上昇したものの、ゲルは形成しなかった。

図4に粉碎時間1分の豆乳と、そこから抽出したでんぷんを豆乳中と同じ濃度で水に懸濁した液の糊化特性を示した。でんぷん濃度が等しいにも関わらず、でんぷん懸濁液の糊化度は、豆乳のそれに比べてはるかに小さかった。この結果からも、ひよこ豆腐のゲル形成は、でんぷんの糊化だけで起こっているものではないことが分かる。



#### (5) 粉碎時間がでんぷんに及ぼす影響

図5に各豆乳にヨウ素溶液を加えて4°Cで1時間放置した場合の状態を示した。粉碎時間が長くなるにつれて沈殿してヨウ素溶液に染色するでんぷんの量が少なくなる一方で、上澄み液の染色度合が上がった。図6に豆乳中のでんぷん量の変動、図7に豆乳中のグルコース量の変動を示した。でんぷん量は、図5と同様に粉碎時間が長くなるにつれてその値が低下した。グルコース量は逆に、粉碎時間が長くなるにつれてその値が上昇した。しかしながら、グルコース量の増加はでんぷん量の低下を補うものではなかった。

図8に薄層クロマトグラフィー (TLC) による各豆乳中の糖質の分析結果を、図9にSDS-PAGEによる各豆乳中のたんぱく質の分析結果を示したが、どちらも豆乳間に違いは認められなかった。

#### 考察

ひよこ豆豆腐は、大豆豆腐と同じたんぱく質含量に調整した場合、約4倍の炭水化物含量のものが調整でき、脂質含量は大豆豆腐の2分の1以下になる。また、ひよこ豆はたんぱく質の利用に重要なビタミンB6の含有量も高いことから<sup>3)</sup>、ひよこ豆豆腐は筋力が衰えがちな高齢者のたんぱく質供給源として有用な食材になると考えられた。ひよこ豆豆腐は自宅でも簡単に作成することができ、硬さが調整できることから、咀嚼・嚥下障害が問題となる高齢者のための食材としても有効であると考えられ

た。

今回、 $\alpha$ -アミラーゼだけではなく、トリプシンで処理した場合にもひよこ豆豆腐のゲル化が起こらなかったことから、ひよこ豆豆腐のゲル形成は、でんぷんの糊化だけではなく、たんぱく質も関与していることが明らかとなった。

粉碎時間を長くすることによってゲルが形成しにくくなった。粉碎時間が長くなると、沈殿してヨウ素溶液に染色するでんぷんの量が少なくなる一方で、上澄み液の染色度合が上がった。粉碎時間を長くした場合、Megazyme社のキットによる豆乳中のでんぷん量の測定値は低下したが、TLCによる糖質分析の結果に差が認められず、グルコース量の上昇は取るに足りないものであった。Megazyme社のキットは工程の中にでんぷんをエタノールで沈殿させる操作があることから、粉碎時間が長くなった場合、でんぷんの分子量はさほど小さくはないが、水に可溶でかつエタノールで沈殿しにくいオリゴ糖になったのではないかと考えられた。ヨウ素溶液による染色やTLCの結果からも、この可能性が支持された。詳細については今後の研究課題である。たんぱく質については、一次構造の変化を見るSDS-PAGEでの検討しかしていないので、今後、粉碎条件がたんぱく質の高次構造に及ぼす影響について検討する必要がある。

本研究の成果は、ひよこ豆並びにひよこ豆豆腐の消費拡大に貢献しうると考えられる。本研究を遂行するにあたり、資金を援

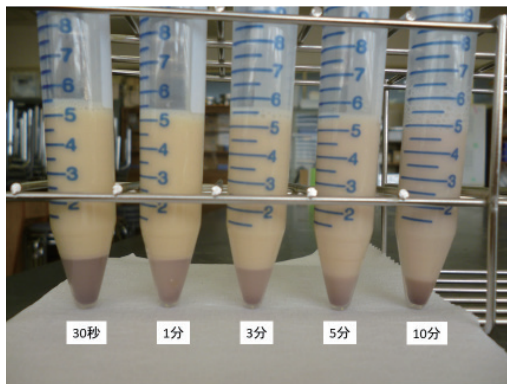


図5 各種豆乳にヨウ素液を加えて放置

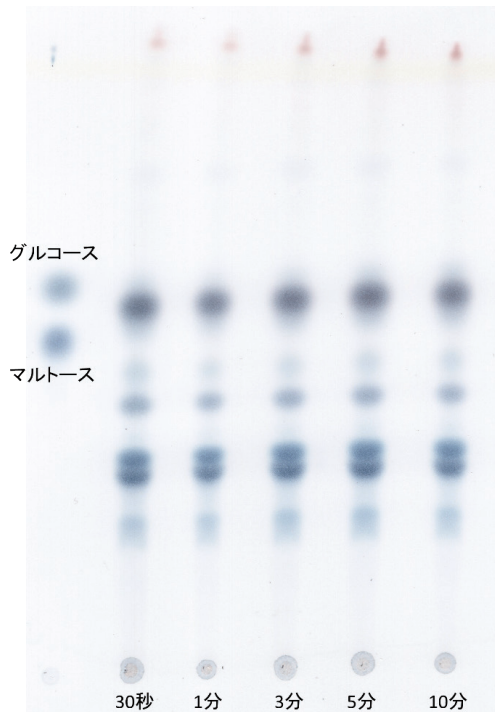
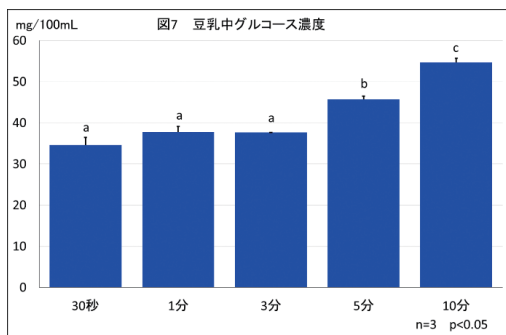
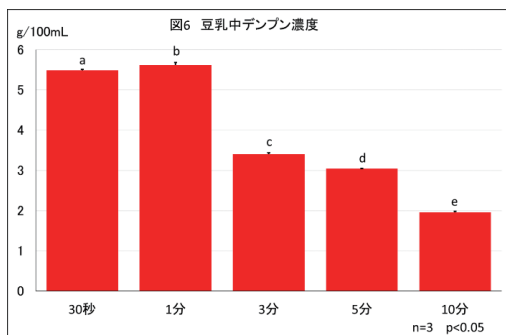


図8 TLCによる豆乳中糖質の分離

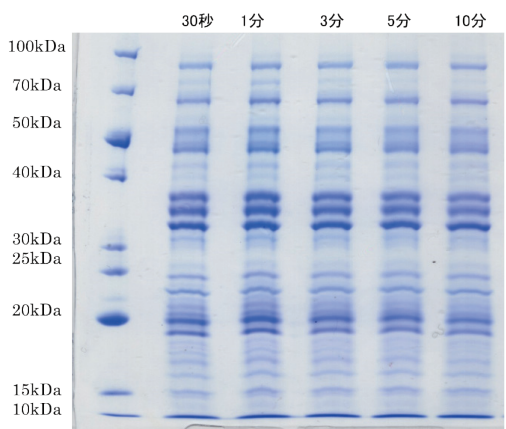


図9 SDS-PAGE による各豆乳中たんぱく質の観察

助して頂いた公益財団法人日本豆類協会に深く感謝申し上げます。

#### 文献・引用

- 1) 葛谷雅文（編集）（2019）. 高齢者の栄養管理パーフェクトガイド. 臨床栄養、臨時増刊号135（4）、398-415、448-454、455-465、472-483、493-498、506-524、532-552、568-580
- 2) 一般財団法人全国豆腐連合会、<http://www.zentoren.jp/>（2020年1月8日閲

覧）

- 3) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会「日本食品標準成分表2015年版（七訂）追補2017年」
- 4) 吉田真美、富田綾子（2017）. 総説世界の豆料理の調理特性. 日本食生活学会誌28（2）、69—79.
- 5) 「Burmese tofu」『フリー百科事典ウィキペディア英語版』. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Burmese\\_tofu](https://en.wikipedia.org/wiki/Burmese_tofu)（2020年1月8日閲覧）