沖縄の伝統発酵食品—豆腐よう—の歴史、発酵と機能性

安田正昭

琉球大学名誉教授

要旨

豆腐ようは沖縄以外の我が国ではほとんど見られないユニークな豆腐の発酵食品である。この食品は琉球王朝時代の18世紀頃に中国から渡来した紅腐乳を琉球王府のお料理座で改良して造り出されたものと考えられる。発酵にかかわる主な微生物は、*Monascus* 属カビと *Aspergillus oryzae* である。豆腐ようの主要な構成成分は大豆タンパク質グリシニンの塩基性サブユニットおよびその他のポリペプチド（分子量 10,500–15,000）である。それら成分が豆腐ようのテクスチャーに関係している。発酵過程で大豆タンパク質はプロテアーゼの作用により低分子化され、一部はアミノ酸やペプチドに変換される。遊離アミノ酸は呈味にかかわる。発酵で生成したペプチド（IFL, WL）は血圧上昇抑制にかかわるアンギオテンシン I 変換酵素の阻害効果を示した。両ペプチドは消化酵素による連続処理後においても高い ACE 阻害活性を有していた。高血圧自然発症ラットを用いた動物実験においても豆腐よう投与群はコントロール群に比べて有意に血圧が低下した。豆腐ようには血圧上昇抑制効果のあることが期待された。

キーワード：豆腐よう；発酵豆腐；紅麴菌；*Monascus* 属カビ；*Aspergillus oryzae*

（2013年1月15日受理）

豆腐ようは、室温で陰干し乾燥させた豆腐を麴と泡盛（蒸留酒）を含むもろみ（漬け汁）に漬けて込んで熟成させたもので、我が国では他に類例を見ない沖縄独特の豆腐発酵食品である¹⁾。発酵豆腐は、沖縄（tofuyo）以外にも中国（腐乳 fu-ru, 乳腐 ru-fu, 豆腐乳 tou-fu-ru と呼ばれる）、タイ（tao-hu-yee）、ベトナム、ミャンマーなどに分布している²⁾。一般に、中国の腐乳は塩辛く、匂いや味が濃厚である。それに対して沖縄の豆腐ようは塩味が薄く、甘みがあり、練り雲丹のような風味とソフトチーズ様のなめらかなテクスチャーを併せ持つユニークな低塩大豆発酵食品である。このものは、沖縄では泡盛の肴、あるいはご婦人の茶請けとして珍重されている（Fig. 1）。最近では、それはフランス料理の素材としても利用されている。本発酵食品は、健康に良いとされる大豆タンパク質の低塩発酵食品であり、現代人の嗜好に合う食品として最近注目されつつある。本稿においては、豆腐ようの歴史、発酵、機能性について紹介する。

1. 豆腐ようの歴史

豆腐ようの歴史とその文化に関する記録はきわめて少ない。著者は、その原料となる豆腐の伝来、中国の腐乳、乳腐あるいは豆腐乳ともよばれる豆腐の発酵食品を手がかりにその伝来と“豆腐よう”

連絡先

*電子メール：yasuda@agr.u-ryukyu.ac.jp

カラーリプリントが本誌 WEB サイトよりダウンロードできます

Fig. 1. Tofuyo and awamori.

の起源について考察した¹⁾。豆腐ようは、琉球王朝時代の18世紀頃に中国（福建省）から伝来した紅腐乳（紅麴を使用した腐乳）に由来すると考えられる。伝来当時の腐乳は塩辛く、匂いがきつく、味も濃厚でクセがあり、そのままでは受け入れられなかった。琉球王朝おおかえの料理人たちは、これを沖縄の気候・風土・食嗜好に合うように泡盛を利用することで減塩と長期保存に成功した。さらにマイルドな風味に改良するなどの工夫を凝らし、エレガントな食品に仕立て上げ、「豆腐よう」と命名したのである。

19世紀に来琉した英国人 Basil Hall は琉球王府から振る舞われた接待料理に「チーズに似たもの」があったと航海記『Account of a Voyage of Discovery to the West Coast of Corea, and the Great Loo-choo Island』（1816, London）に記している。それは、豆腐ようらしきものが登場する最初の記述であるが詳細については不明である。なお、原書には Korea ではなく Corea と記載されている。「豆腐よう」の文字が記録に登場するのはそれより16年後の『御膳本草』（渡嘉敷通寛, 1832）であり、それによれば「豆腐乳（タウフニウ）はとうふよう也。香ばしく美にして胃気を開き、食を甘美ならしむ。諸病によし」とある。この食べ物とは当時の上流社会でのみグルメ食品あるいは病後の滋養食、副食物として賞味され、庶民はほとんど知らなかったようである。その後、豆腐ようは琉球王家と関係の深い特定の地域や家庭でのみ門外不出の「秘伝」として代々継承されてきた。この食品製造には高価な泡盛を多量に使用せねばならず、また、手間、暇のかかることなどからごく一部の人たちの珍味であったため、今日に至るまで一般の日常的な食品として普及することはなかった。明治の初期に尚家の第3王子として生まれた尚順男爵は大の豆腐よう愛好家であつたらしく彼の遺稿集（『松山王子尚順遺稿集』（1969））の中で、「中国の腐乳は味が非常に濃厚なるために婦人子供等には不向きだが、これ対して沖縄のは淡泊なる為に、女子供にも好む手合いがすこぶる多い」とし、さらに「沖縄の豆腐ようは世界で首位なる珍味」と礼讃している。

近年、豆腐よう製造の技術的特徴が解明され³⁾、本格的に工場生産されるようになった。豆腐ようは琉球王朝時代の食文化をイメージした商品として市販され、沖縄県の特産品として発展してい

る。そのような訳で、豆腐ようは沖縄の伝統的発酵食品ではあるもののニューフードといえよう。

2. 豆腐ようの製造

豆腐ようの製造工程を Fig. 2 に示した。その製造工程は豆腐の製造、豆腐の乾燥、麴の製造および仕込み・熟成から成る。伝統的な豆腐ようづくりは概ね次のとおりである⁴⁾。通常、冬季につくる。まず、きめが細かく堅めの豆腐をつくり、それを2~3 cm 角に切り揃える。これをザルに広げて陰干しをする。2~3日経つと表面は褐色となり、ネトを生じる。この乾燥豆腐の表面を泡盛で洗淨した後、次の仕込みに用いる。一方、もろみの調製は、米麴（紅麴、黄麴）にアルコール濃度が40%以上の泡盛を同量加え、麴が十分に軟らかくなった頃にすりつぶし、食塩で味をととのえる。上記乾燥豆腐を壺あるいはびんに入れ、もろみに漬け込み、密栓して室温で約6か月間熟成させる。

Fig. 2. The tofu-yo-making process.

3. 豆腐ようの微生物

発酵にかかわる主な微生物は、*Bacillus* 属細菌、*Monascus* 属カビ、*Aspergillus oryzae* である。*Bacillus* 属細菌は豆腐の乾燥工程でその表面に生育し、前発酵としての役割を担っている。主発酵にかかわる微生物は麴菌である。*M. purpureus* は中国大陸や台湾では紅酒や紅腐乳の製造に用いるカビであり、食用天然色素であるモナスカスカラーの生産菌としても知られている。本菌は、豆腐ようの熟成、色調や独特のフレーバー形成にも寄与する。近年、紅麴菌の培養物にはコレステロール生合成抑制作用、血圧降下作用、抗酸化作用などの生理活性物質の存在が明らかになっており、その医薬品や食品開発への応用展開への期待が高まっている⁵⁾。*A. oryzae* は清酒や味噌などの製造に用いられる麴菌である⁶⁾。*Monascus* 属菌や *A. oryzae* などの微生物が産生する各種酵素群が豆腐ようの熟成や香味形成に大きく寄与している。

4. 豆腐ようの発酵・熟成

豆腐ようの発酵・熟成は高濃度アルコール（20%）存在下で各種酵素作用により行われる^{2, 8)}。豆腐ようの熟成で最も重要な役割を演じている酵素はプロテアーゼ（プロティナーゼやペプチダーゼ）である。もろみ中のプロテアーゼ活性は泡盛に由来するアルコール濃度の影響を受けて抑制されるため、大豆タンパク質は限定的に分解される。その結果、なめらかさや粘弾性などの豆腐ようらしい物性が形成され、同時に好ましい呈味性（アミノ酸）も形成される。豆腐よう熟成過程における大豆タンパク質の変化を電気泳動法（SDS-PAGE）により観察した。まず、熟成中水不溶性画分における大豆タンパク質の電気泳動パターンを調べ、その結果を Fig. 3 に示した。大豆タンパク質の主要成分である β -コングリシニンの各サブユニット、グリシニンの酸性サブユニットおよびその他の高分子成分に対応するポリペプチドバンドは熟成時間の経過にともない消失した。一方、

Fig. 3. Slab SDS-PAGE pattern of the water insoluble fraction of tofuyo at various stages. Molecular masses were estimated by the mobilities of cytochrome *c* from horse heart and cross-linked cytochrome *c* (cytochrome *c* from monomer to hexamer). *MW* standard proteins described above, *βCG* β-conglycinin, *GLY* glycinin, *RT* raw tofu, *DT* dehydrated tofu, *Numeric values* in *MW* represent each molecular mass. *α'*, *α*, and *β* show the *α'*-*α*-, and *β*-subunits in *β*-conglycinin; *A* and *B* show the acidic and basic subunits in glycinin.

グリシニンの塩基性サブユニットおよびその他の発酵で生成した比較的低分子量のポリペプチド (分子量 10,500-15,000) の存在が確認された。これらの成分が豆腐ようボディーの構成成分であり、豆腐のようなテクスチャーに関与している。これを物性測定装置で調べると最終製品の硬さや粘弾性などの各物性値は原料豆腐のそれとは全く異なり、むしろ市販のクリームチーズやソフトチーズのそれと類似した値に変化したことがわかった。また、熟成過程における豆腐のような微細な組織構造を走査型電子顕微鏡で調べたところ、熟成初期に見られたタンパク質の太い繊維が熟成にともない小さな粒状のタンパク質が連なった構造に変化することなどがわかった^{2,8)}。このような物性変化やタンパク質の微細構造変化は豆腐よう独特のなめらかな食感に深くかかわっている。同様に熟成過程における水溶性画分におけるタンパク質分解の様子 SDS-PAGE で調べた結果、熟成 0 日目では多数のバンドが検出されたのに対し、熟成 3 カ月ではほとんど残存していないことがわかった。豆腐のような水溶化率およびトリクロル酢酸可溶性窒素量は熟成時間の経過にともない増大した。すなわち、大豆の水溶性タンパク質はプロテイナーゼやペプチダーゼの作用で低分子化され、アミノ酸やペプチドに変換されたのである⁷⁾。

麴由来 α -アミラーゼおよびグルコアミラーゼはプロテアーゼの場合とは異なり、熟成後期に至るまで比較的高い酵素活性が維持され、もろみ中のコメデンプンに作用してグルコースを生成する。

アミノ酸は発酵食品の呈味に大きく貢献している。豆腐ように最も多い遊離アミノ酸はグルタミン酸であり、次に、アラニン、アスパラギン酸、グリシン、セリンの順である。グルタミン酸やアスパラギン酸はうま味アミノ酸、そしてアラニンやグリシンなどは甘味のあるアミノ酸として知られている。アミノ酸以外の呈味成分は、グルコースが最も多く、その他に食塩、有機酸と核酸がある。豆腐のような呈味には、アミノ酸や糖などとともにそれら成分間の相互作用も大きくかかわっていると考えられる^{2,8,9)}。

5. 豆腐ようの機能性

最近、豆腐ようの機能性に関する知見が得られつつある。高血圧の状態が持続すると各臓器の血管が脆くなり動脈硬化の進行が促され、その結果として虚血性心疾患、脳卒中、腎不全の発症リスクが高くなることが知られている。

豆腐ようの水溶性画分に、血圧上昇抑制効果と関係の深いアンギオテンシン I 変換酵素 (ACE; angiotensin I-converting enzyme) 阻害活性が見いだされ、その関与成分として2種類のペプチド、IFL (Ile-Phe-Leu) および WL (Trp-Leu) が同定されている。豆腐よう由来ペプチドが生体内に取り込まれた後でどのような消長をたどるかは ACE 阻害効果を知る上で重要であることから消化酵素であるペプシン (ブタ胃粘膜由来)、トリプシン (ウシ) およびキモトリプシン (ウシ脾臓) の連続処理による両者の消化耐性試験が行われた。消化酵素処理前の IFL および WL の IC₅₀ 値はそれぞれ 18 および 10 mg/ml と算出されたが、酵素処理後においても両者の IC₅₀ 値は 47 および 35 mg/ml を示し、比較的高い ACE 阻害活性が残存している。それ故、両ペプチドは生体内の消化、吸収という関門を通過して血圧上昇抑制作用を示す可能性が示唆された¹⁰⁾。そこで、豆腐ようの血圧上昇抑制効果を知るために8週齢の雄性高血圧自然発症ラット用いて豆腐ようの凍結乾燥粉末を含む食餌で14週齢まで飼育し、血圧や臓器の ACE 活性を調べた。その結果、13週齢における豆腐よう投与群はコントロール群に比べて有意にラットの血圧上昇抑制効果を認めるとともに実験終了時の14週齢における各臓器の中でも腎臓の ACE 活性は有意に低下する¹¹⁾ことが明らかとなっている。これらの結果から、豆腐ようには生体内における血圧上昇抑制効果があると期待される。

豆腐ようには、その他にも赤血球変形能抑制作用、脂質代謝改善および抗酸化作用などの機能性の存在⁸⁾が報告されている。

6. おわりに

沖縄の豆腐ようは中国の紅腐乳をルーツにもつが、先人たちはその製造法で沖縄特産の泡盛 (アルコール) を用いることで低塩条件下での防腐効果の向上と香味がマイルドな新しい発酵食品を生み出した。これが豆腐ようである。この食品は琉球王朝とゆかりの深い特定地域 (首里) の一部の家庭で細々と継承されてきたが、最近では工場生産されるようになった。豆腐ようが広く普及され、発展するためには消費者ニーズに対応した製品の品質改良、大量生産に対応した製造システムの確立、流通網の整備、消費者が求めやすい価格設定と好ましい食べ方の提案ならびに大量宣伝が必要である。さらに豆腐ようのユニークなフレーバーや生理機能を生かした新しい用途開発とその需要拡大を図る努力も必要とされる。

豆腐ようが一般的な食品として普及し、一日も早くわれわれの普段の食卓に登場することを願うものである。

引用文献

- 1) 安田正昭: 豆腐の文化—沖縄の豆腐づくりと豆腐よう—。『民俗のこころを探る』(原泰根編集), pp. 295-337, 初芝文庫 (1994)
- 2) Yasuda, M.: Fermented tofu, tofuyo. In "Soybean-Biochemistry, Chemistry and Physiology" (Tzi-Bun

- Ng ed.), INTECH OPEN ACCESS PUBLISHER, pp. 299- 322 (2011), ISBN: 978-953-307-219-7, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/fermented-tofu-tofuyo>
- 3) 安田正昭：とうふよう製造に関する研究—製造秘伝の科学的解析と技術展開—. 日食工誌, **37**, 403-409 (1990)
 - 4) 安田正昭：豆腐よう. 『発酵と醸造Ⅲ』(東和男編著), pp. 96-105, 光琳 (2004)
 - 5) Kuba-Miyara, M., and Yasuda, M.: Bioorganic compounds produced by the fungus *Monascus* and their use in health sciences and medicine. Mini-Rev Org Chem, **9**, 11-19 (2012)
 - 6) 一島英治：『麴 (こうじ)』pp. 137-167, 法政大学出版局 (2007)
 - 7) Yasuda, M., Tachibana, S., and Kuba-Miyara, M.: Biochemical aspects of red koji and tofuyo prepared using *Monascus* fungi. Appl Microbiol Biotechnol, **96**, 49-60 (2012)
 - 8) 安田正昭：大豆発酵食品「豆腐よう」に関する食品科学的研究. 食科工, **57**, 181-190 (2010)
 - 9) 桂正子：豆腐よう. 日調科誌, **29**, 314-322 (1996)
 - 10) Kuba, M., Tanaka, K., Tawata, S., Takeda, Y., and Yasuda, M.: Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides isolated from Tofuyo fermented tofu. Biosci Biotechnol Biochem, **67**, 1278-1283 (2003)
 - 11) Kuba, M., Shinjo, S., and Yasuda, M.: Antihypertensive and hypocholesterolemic effects of tofuyo in spontaneously hypertensive rats. J Health Sci, **50**, 670-673 (2004)

A traditional fermented food, tofuyo, in Okinawa: its history, and food chemical and physiologically functional properties

Masaaki YASUDA

Emeritus Professor of University of the Ryukyus

Tofuyo is an indigenous fermented tofu in Okinawa, Japan. Red furu was brought to Okinawa from China, and was introduced during the period of the Ryukyu dynasty, around the 18th century. Because the product was brined and had strong taste, it was initially unpalatable to the Okinawan people in its original form. Therefore, it was re-created using awamori instead of salt by cooks in the dynasty for a more palatable taste that was milder in flavor. Microorganisms commonly used to the manufacturing of tofuyo belong to the genus *Monascus* and *Aspergillus oryzae*. The main components forming the body of tofuyo consist of basic subunit of glycinin and other polypeptides (*Mr.* 10,500-15,000). They are related to the textures of tofuyo. The soybean proteins were digested into amino acids and peptides during maturation. The amount of free glutamic acid and aspartic acid greatly related to good taste of the product. Some of the peptides (IFL and WL) liberated from tofuyo inhibited the angiotensin I-converting enzyme activity that produces the vasopressor peptide. Both IFL and WL were highly preserved after treatment with gastrointestinal proteases. Furthermore, the systolic blood pressure of rats in the tofuyo group was significantly lower than that in control group. Therefore, tofuyo was expected to have an antihypertensive effect.