

大豆たん白質含有新規含泡米粉食品の開発と その資源循環型食品としての受諾性

藤井恵子*

日本女子大学家政学部

Development of a Novel Foam Food Made from Wheat Flour and Soy Protein Isolate

Keiko FUJII

Department of Food Science and Nutrition, Japan Women's University, Tokyo 112-8681

ABSTRACT

The sponge cake was made with rice flour and soy protein isolate (SPI) as main components. In the case of no added SPI, the moisture sorption isotherms of sponge cakes were not affected by aids for foaming. When SPI was added, the equilibrium moisture contents of the cake were affected by the properties of aids owing to the greater moisture sorption isotherm of SPI. The cake made with silk fibroin showed the smallest equilibrium moisture content. It was thought that it reflected the hydrophobicity of silk fibroin. Drying rate of cake with silk fibroin was the smallest. These results suggest that fibroin may form the network to prevent moving of water molecules in the cake. The silk fibroin used was obtained from waste yarn and showed very interesting characters as described above. It may be acceptable as foodstuff. *Soy Protein Research, Japan* **5**, 51-57, 2002.

Key words: sponge cake, rice flour, soy protein isolate, silk fibroin, moisture sorption isotherm

21世紀の我が国は少子高齢社会となり、国民総医療費は年々増加している。近い将来、医療や福祉の負担が国民的課題となることは明白である。少子高齢社会においては、「いかにして健康な生活を営むか」が重要であり、その基本は食生活にあるといっても過言ではない。現代の欧風化した食生活においては、米飯に代わってパンやスポンジケーキなどが食生活の主要な

位置を占め、カロリー過多、脂肪過多の傾向が強くなり、これが生活習慣病の源泉となるに至っている。しかし、いくら栄養学上問題があっても、食生活・食文化というものは急には変わらない。従って、現代の食生活を少しずつ健康的にしていけることが現実的な改善法である。小麦に含まれるたん白質は優れた食品加工特性を有しているが、必須アミノ酸に乏しく栄養学上の価値は低い。我が国よりも医療費の国民負担率が高いアメリカで高い評価を受けている日本食は、米と大

*〒112-8681 東京都文京区目白台2-8-1

豆が中心的な位置を占めており、低カロリーである。従って、現代の多様化した食生活からの要求に米粉が応えることができれば、米の応用分野が大きく広がるのが期待できる。小麦粉から作られる食品は、グルテンネットワークとデンプンの複合材料と考えることができる。近年食品素材としての検討が始まっている絹フィブロイン¹⁻³⁾もネットワーク形成能を有している。小麦粉食品中でグルテンが果たしている役割を絹フィブロインが果たすように工夫すれば、小麦粉を原料としている含泡食品を米粉からも製造することができるかもしれない。これが、「wheat flour-mimetic technology」という新しい食品設計原理の提案である。本研究では、絹フィブロイン複合化含泡米粉食品と大豆たん白質を混合して栄養学的にバランスのとれた健康志向型含泡米粉食品を開発するとともに、産業廃棄物を食資源として有効活用することの受諾性について検討した。

方 法

絹フィブロイン溶液の調製

廃絹糸（松岡機業(株)、鶴岡市）を1%炭酸水素ナトリウム中で煮沸洗浄する操作を数回繰り返してセリシンを除去した後、35%塩化カルシウム溶液に移し、98℃で7時間加熱溶解させた。この溶液を蒸留水中にて透析・脱塩し、濾過することにより絹フィブロイン溶液を得た。絹フィブロイン溶液の濃度は6%に調整し、実験に供した。

スポンジケーキの調製

材料として米粉（日の本穀粉(株)）、分離大豆たん白質（プロリーナ200、不二製油(株)）、卵黄、スクロース、卵白と絹フィブロイン溶液を用いた。

まず、6%絹フィブロイン溶液60 gに分離大豆たん白質10 gを篩いながら加えハンドミキサー（M-35、GENERAL ELECTRIC製）を用いて950 rpmで攪拌し、さらにスクロース12.5 gを加えて攪拌を続け、絹フィブロイン泡沫を調製した。卵白と絹フィブロイン溶液30 g : 30 g、卵白60 gを用いて同様に卵白/絹フィブロイン混合泡沫、卵白泡沫を調製した。攪拌時間については、卵白/絹フィブロイン混合泡沫と卵白泡沫は最も気泡含量の高い状態の泡沫を用いることとし、卵白/絹フィブロイン混合溶液では攪拌時間16分、卵白泡沫では10分とした。絹フィブロイン泡沫については、気泡含量の最も高い状態の泡沫を用いると焼成後のスポンジケーキ組織内部に空洞が生じるため、流動性のある泡沫を用いることとし、攪拌時間を20分とした。

次に卵黄40 gとスクロース12.5 gを合わせたものに蒸留水30 g、米粉50 g、泡沫82.5 g（分離大豆たん白質を含まない場合は72.5 g）を加えて混合し、含泡生地を調製した。得られた生地を直径15 cmのシフォンケーキ型に流し入れ、170℃で40分間焼成した。これを室温にて1時間放冷後、25℃で24時間保持し、測定に供した。

X線回折の測定

脱水のため、試料に3倍量の無水エタノールを加え乳鉢で摩砕して濾過する操作を3回繰り返した。その後、アセトンで洗浄し風乾して脱水粉末試料を得た。X線回折測定は、X線回折装置（RINT2200、(株)リガク）を使用し、回折強度により結晶性を評価した。測定条件は、走査速度0.5°/min、管電圧35 kV、管電流15 mAとした。

水分収着等温線の測定

各種スポンジケーキのクラムを2 cmの立方体に切り、吸着平衡測定装置（EAM-01、JTトーシ(株)）を用いて25℃における水分収着等温線を測定した。相対水蒸気圧（Relative humidity, RH）は5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80%に設定した。

乾燥速度の測定

スポンジケーキのクラムを2 cmの立方体に切り、吸着平衡測定装置により経過時間に伴う試料重量を測定し、ケーキの等温真空乾燥速度を求めた。

官能検査

絹フィブロインを用いたスポンジケーキの嗜好性を評価するため、評点法により官能検査を行った。卵白泡沫を用いて調製したスポンジケーキを基準として、絹フィブロインを用いたケーキについて、指で押したときの弾力性、きめ、かたさ、しっとり感、後味、総合評価の6項目を評価した。パネル数（n）は25名とした。

結果と考察

水と材料との間の収着力を平衡論的に検討するため、スポンジケーキの材料である泡沫試料を凍結乾燥させた試料について25℃での水分収着等温線を測定した。結果をFig. 1に示す。上から、絹フィブロイン泡沫、混合泡沫、卵白泡沫であり、いずれの泡沫試料においても2回続けて測定を行い、左が測定1回目、右が2回目の結果である。得られた水分収着等温線から、卵白泡沫に比べ絹フィブロイン泡沫は水分収着量が低くなった。この結果から、絹フィブロイン泡沫は卵白泡沫よりも疎水的であることが水分収着特性から確か

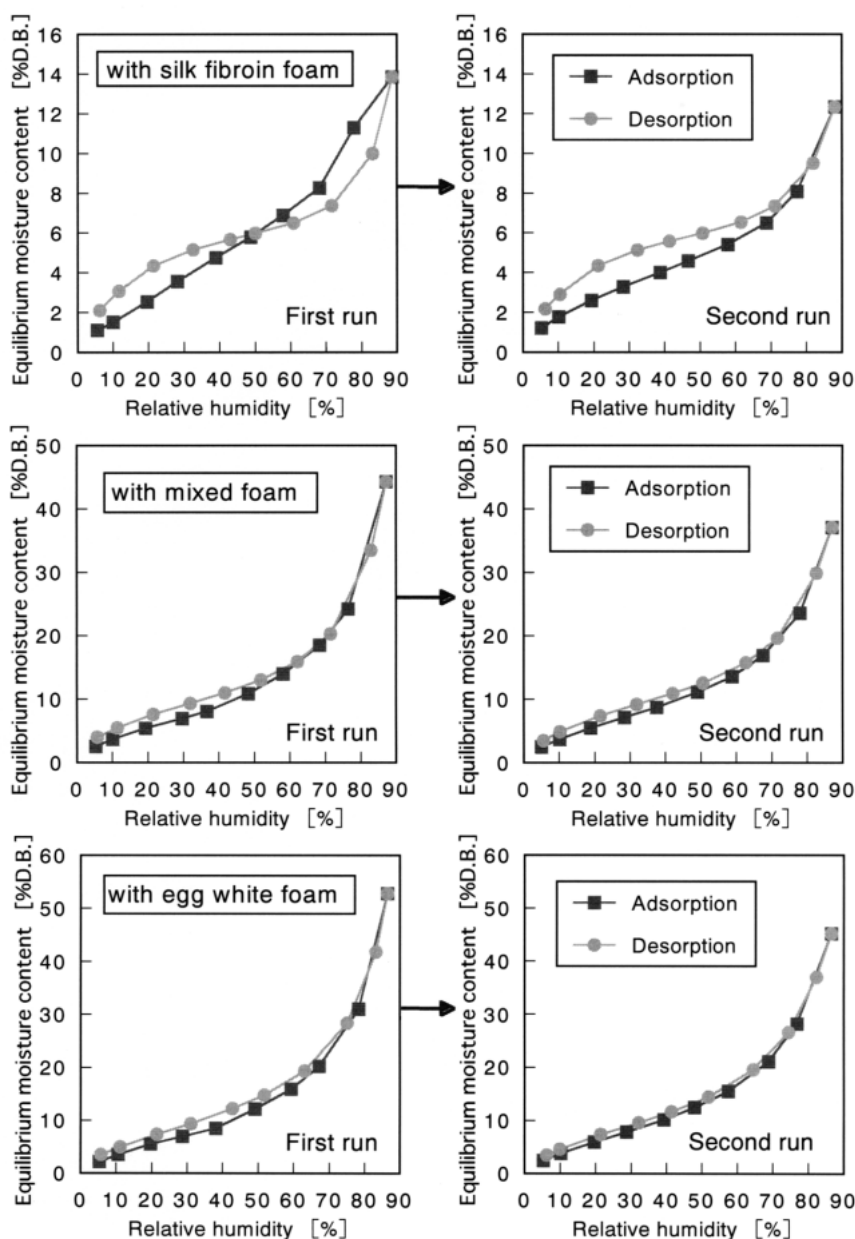


Fig. 1. Moisture sorption isotherms of protein foams.

められた。また、絹フィブロイン泡沫は収着・脱着カーブが1回目交差していたものが、2回目は収着カーブが変化したことにより、交差しなくなった。しかし、卵白と混合泡沫は、1回目と2回目で違いは見られなかった。

そこで、水分収着実験前と収着実験後の泡沫でX線回折像に変化が見られるかどうかを検討した。X線回折測定の結果をFig. 2に示す。絹フィブロイン泡沫では収着実験前と比べ、収着実験後の回折像は大きく変

化して結晶化に伴うピークが現れたのに対し、卵白泡沫、混合泡沫ではほとんど変化が認められなかった。このことから、絹フィブロイン泡沫は水分を収着することにより構造変化を起こし、結晶化することが分かった。本研究では絹フィブロイン溶液を25℃で攪拌し、得られた泡沫を凍結、乾燥させることにより、凍結乾燥粉末を調製した。この凍結乾燥粉末は、非晶質でガラス状態にあったものが、1回目の水分収着実験で吸湿することによりガラス状態からラバー状態に変化

し、分子の運動性が上昇し、その結果非晶部の一部が結晶化して安定状態となったと考えられた。

調製したスポンジケーキのうち、1例として卵白泡沫を用いたものの断面の写真をFig. 3に示す。現存の含泡食品のほとんどは小麦粉を用いて製造することを前提としており、従来法がそのままでは適用できなかった。従って、食品素材の配合割合のみならず加工プロセスも含めて検討し、試行錯誤の結果、まず安定な泡沫を調製しこれに米粉を加えた含泡生地を焼成することによって、米粉と大豆たん白質を主成分とするスポンジケーキを調製することに成功した。また、結果は示さないが、米粉のスポンジケーキにおいて絹フィブロインの混合割合が増加するに従い膨化率は小さくなり、ケーキの密度が大きくなった。絹フィブロインは β 構造が多く伸展性が低いことが知られている⁴⁾。絹フィブロインの混合割合が増加するに従い膨化率が低くなった結果は、伸展性が低いという絹フィブロインのたん白質化学的特性が反映したものと考えられた。

大豆たん白質を添加した影響を検討するために、米粉のスポンジケーキの水分吸着特性を測定した。スポンジケーキ試料の水分収着等温線をFig. 4に示す。大豆たん白質を添加しないケーキの場合は用いた泡沫による差はほとんど認められなかったが、大豆たん白質を添加したケーキの場合は、相対水蒸気圧が等しいとき平衡水分収着量は卵白泡沫>混合泡沫>絹フィブロイン泡沫の順となり、絹フィブロインとの複合化による平衡水分収着量の減少が認められた。これは、絹フィブロインの疎水性が反映されていると考えられた。

次に、スポンジケーキの等温真空乾燥試験を行い、乾燥の進行に伴う試料の重量減少から乾燥カーブを求めたところ、Fig. 5に示す結果が得られた。このカーブからケーキの等温真空乾燥速度を求め、乾燥特性曲線を得た。結果をFig. 6に示す。大豆たん白質を添加しないケーキの場合では、減率乾燥期間での乾燥速度は卵白泡沫>混合泡沫>絹フィブロイン泡沫の順となったのに対し、大豆たん白質を添加したケーキの場合は、混合泡沫>卵白泡沫>絹フィブロイン泡沫の順となった。いずれのケーキにおいても絹フィブロイン泡沫を用いた試料の乾燥速度が最も遅くなった。減率乾燥期間では、表面の自由水が消失し、材料内の水蒸気拡散抵抗の寄与が大きくなる⁵⁾。乾燥特性曲線の結果から、疎水性たん白質である絹フィブロインが何らかの空間的ネットワーク構造をつくり、この卓越したネットワーク構造が減率乾燥速度を遅くさせていると考えられた。

一方、大豆たん白質を添加したケーキの場合に混合

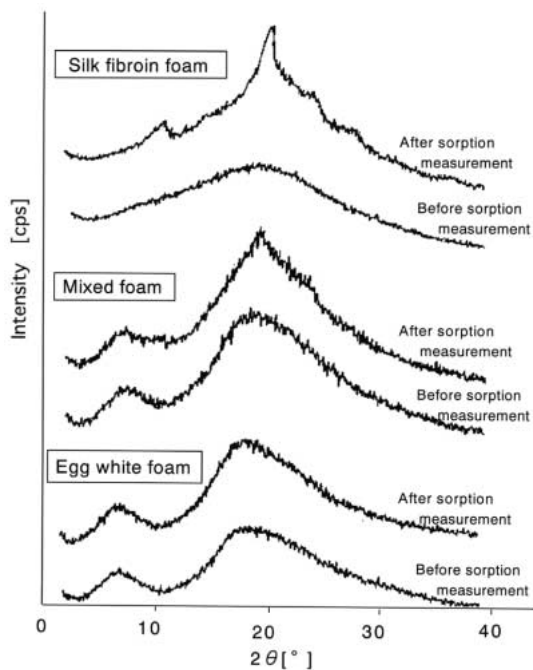


Fig. 2. X ray refracton curve of protein foams.

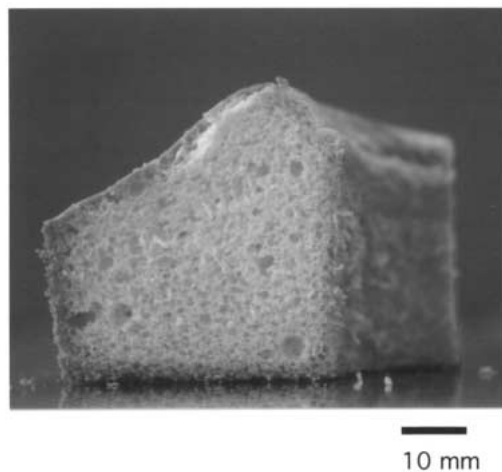


Fig. 3. Cross section of sponge cake made from rice flour/SPI/egg white foam.

泡沫が最も乾燥速度が大きくなった理由は不明で、卵白の存在が絹フィブロイン・ネットワークの形成に阻害的に働いている可能性が考えられたが今後の検討課題である。以上の結果から、大豆たん白質や卵白あるいは絹フィブロインとの複合化によってスポンジケーキの内部に水分移動抵抗を示すネットワーク構造が生じており、減率乾燥速度に影響を与えていると考えられた。

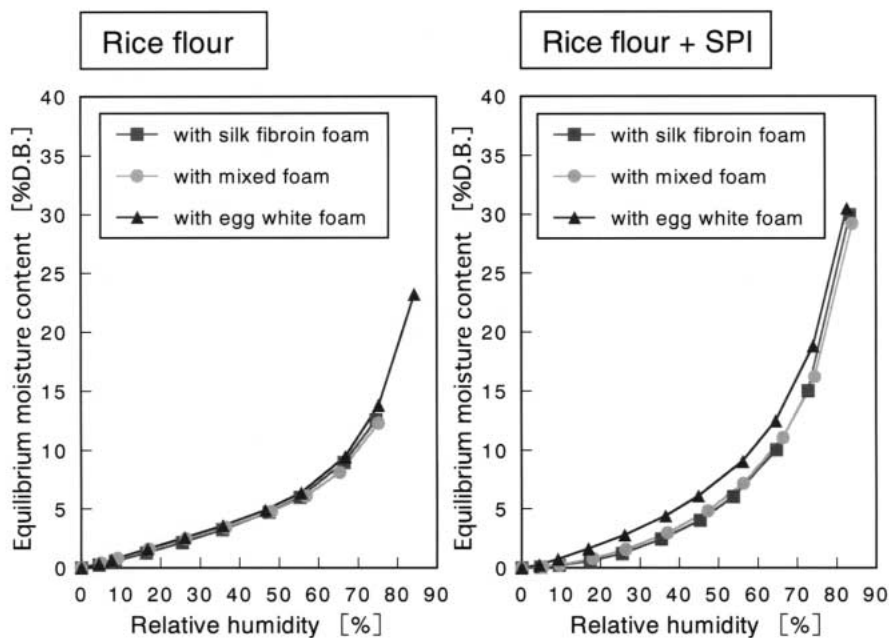


Fig. 4. Moisture sorption isotherms of sponge cakes.

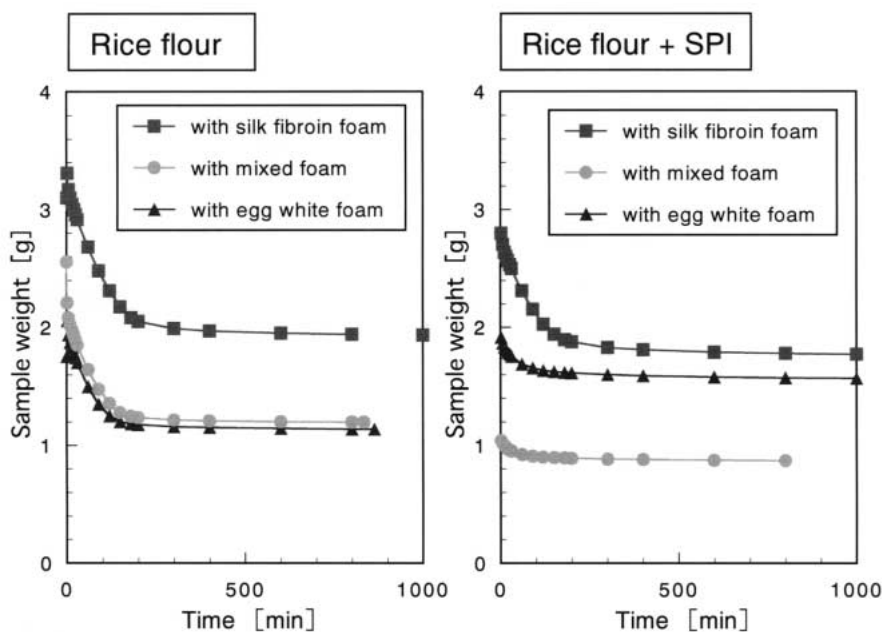


Fig. 5. Drying curves of sponge cakes at 25°C.

卵白泡沫を用いたケーキを基準として、絹フィブロイン泡沫を用いたケーキについて、弾力性、きめ、かたさ、しっとり感、後味について官能検査を行った結果をFig. 7に示す。弾力がなく、ややきめが荒いけれども、しっとりとしていて、総合的にはおいしいと評価された。廃棄物である残糸から調製した絹フィブロ

インを原料の一部として用いたスポンジケーキであるが、資源循環型食品として受け入れられる可能性が示された。

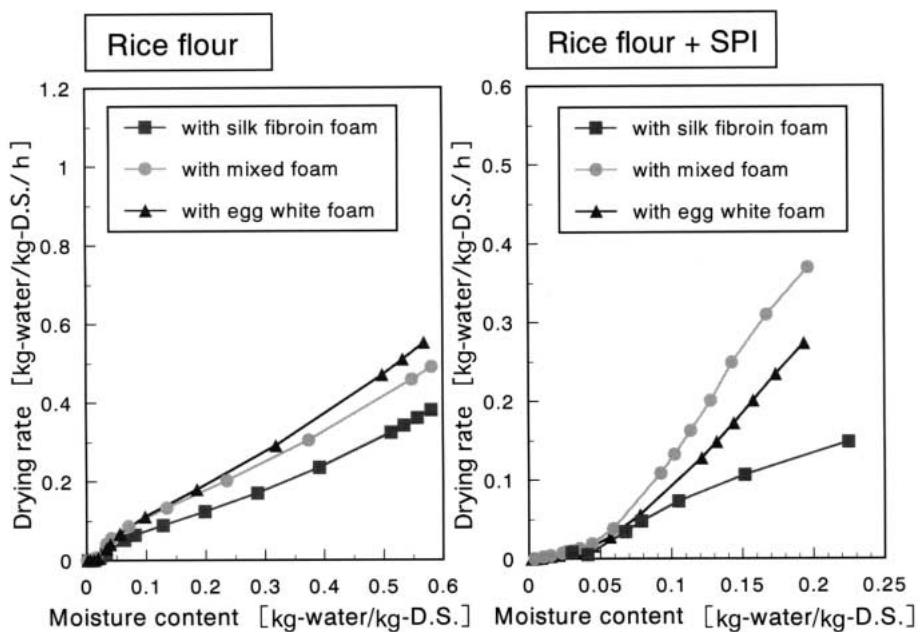


Fig. 6. Rate of dehydration of sponge cakes at 25°C.

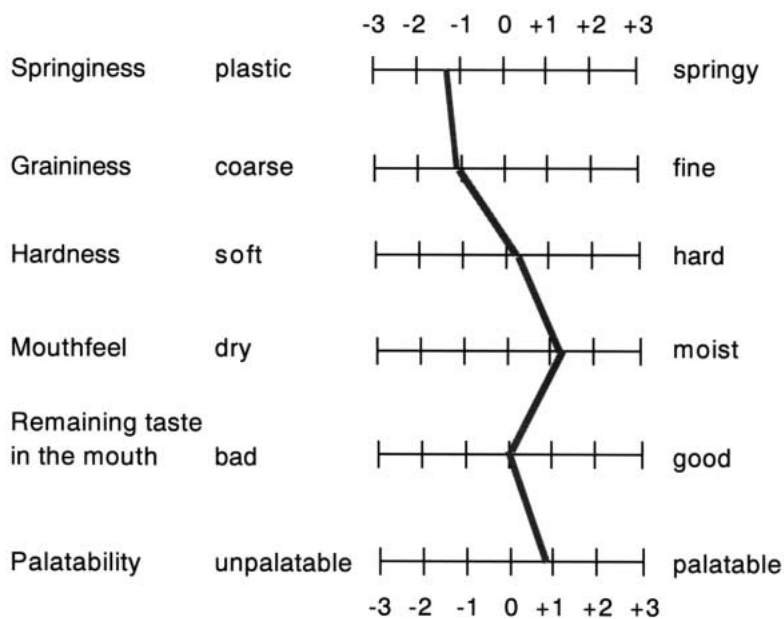


Fig. 7. Results of sensory evaluation of the sponge cake made from rice flour/SPI.

要 約

小麦粉を原料としている含泡食品を米粉から製造する「wheat flour-mimetic technology」のコンセプトに基づき、安定な泡沫を調製しこれに米粉を加えた含泡生地を焼成することによって、米粉と大豆たん白質を主成分とするスポンジケーキを作製した。スポンジケーキの水分吸着特性から、大豆たん白質を添加しないケーキの場合は用いた泡沫による差はほとんど認められなかったのに対し、大豆たん白質を添加すると試料間に差が見られて絹フィブロインとの複合化により水分収着量が減少した。これは、絹フィブロインの疎水性が反映されていると考えられた。また、絹フィブロイン泡沫を用いて調製したスポンジケーキの減率乾燥速度が小さくなったことから、絹フィブロインがスポンジケーキ内で水分移動抵抗を示すネットワーク構造を形成していることが示唆された。官能検査の結果から、廃棄物である残糸から調製した絹フィブロインを原料の一部として用いたが、食品として受け入れられる可能性が示された。

文 献

- 1) 平林 潔, 陳 開利, 勢旗 毅 (1991): 絹フィブロインの食品素材としての活用. *New Food Industry*, **33**, 1-4.
- 2) 平尾和子, 木村由里子, 五十嵐喜治 (1998): 絹糸から調製したフィブロイン溶液の起泡特性とスポンジケーキへの応用. 日本食品科学工学会誌, **45**, 692-699.
- 3) 藤井恵子, 高橋貞幸, 木内瑠美子 (2000): 絹フィブロインと複合化した米粉のスポンジケーキ調製とその特性. 日本食品科学工学会誌, **47**, 363-368.
- 4) 浜口浩三 (1976): 蛋白質機能の分子論. 学会出版センター, pp. 3-35.
- 5) 野口 駿 (1992): 食品と水の科学. 幸書房, pp. 169-211.