

# 大豆イソフラボンを配合したグルテン不使用米粉パンの開発

矢野裕之\*

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
食品研究部門食品加工流通研究領域

## Development of isoflavone-containing gluten-free rice bread

Hiroyuki Yano\*

Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization,  
Tsukuba, Ibaraki 305-8642

### Abstract

Soya isoflavones, with a chemical structure similar to estrogen, a female hormone, have several health benefits. In this study, we sought to develop gluten-free rice bread that allows a moderate daily intake of soya isoflavones. When crude isoflavone (55.8%) was added to a recently-developed gluten-free rice batter (Yano et al., 2017, LWT-Food Science and Technology, 79, 632-639.), the bread specific volume was not reduced from 4ml/g. Moreover, both the appearance and flavor were not spoiled. The bread had 0.15% (w/w) of isoflavones and 0.089% (w/w) of the aglycones. So one-half slice of the bread (25-30g), estimated to contain 22-27 mg of the aglycones, is enough to intake nearly the upper limit for daily extra dietary intake of soya isoflavone (30 mg aglycone) determined by the Food Safety Commission.

**Key words:** Bread, Gluten-free, Isoflavones

蛋白質が豊富で「畑の肉」と呼ばれる大豆は、食の欧米化が進む戦前より我が国の食生活を支えてきた<sup>1)</sup>。最近ではその栄養機能が注目され、加工食品への利用が進められている<sup>2)3)</sup>。なかでも大豆イソフラボンはその化学構造が女性ホルモンのひとつであるエストロゲンと似ていることから、生体内でエストロゲンの受容体と結合し、種々の生理作用を発現する場合がある<sup>4)</sup>。大豆イソフラボンには糖が結合した「配糖体」と、糖が結合していない「非配糖体」(アグリコン)がある。食品中では主に配糖体で存在する大豆イソフラボンは、人が食べると体内で腸内細菌の作用などにより糖の部分が分離して大豆イソフラボンアグリコンとなり、腸管から吸収される。内閣府食品安全委員会は大豆イソフラボンの摂取に関して、「例えば骨粗しょう症、乳がんや前立腺がん等の予防効果が期待されるが、一方、乳がん発症や再発等のリスクを高める可能性も考えられる。」とし<sup>1)</sup>、日本人の食生活における日常的な大豆イソフラボンの安全と考えられる1日摂取目安量の上限をアグリコン(非配糖体)換算で70-75mg、特定保健用食品としての大豆イソフラボンの安全な1日上乗せ摂取量の上限値を30mgと設定している<sup>1)</sup>。イソフラボンの効能は様々な大豆製品やサプリメントで謳われていることから、この目安量を守りながらイソフラボンを日常的に摂取できる食品は社会的ニーズが高いと期待される。

著者らは最近、増粘剤などの添加物を要せず、米粉・水・イースト・砂糖・食塩・油脂(バターや菜種油)だけで米粉100%パンを製造する技術を開発し、広島大学と共同で、この生地が「微粒子型フォーム」のメカニズムで膨らむことを明らかにした<sup>5)</sup>。また、このメカニズム情報を参考にしながら、家電製品メーカーと共同で上記パンを家庭で簡便に作製できるIH型ホームベーカリーを開発し、同社より製品化された。このパンは比容積が4ml/g程度に膨らみ、その品質の「パンらしさ」が評価されている<sup>6)</sup>が、必要最小限の原材料で構成され、機能的成分は配合されていない。そこで本研究では、このパンの高品質・高付加価値化の初めての試みとして、大豆イソフラボンの配合を検討したので報告する。

## 実験材料および方法

### 1. 大豆粉を配合した米粉パンの作製

大豆粉を配合したパンは、IH ホームベーカリー(KBD-X100, タイガー魔法瓶株式会社)を使用し、同機の取扱説明書に記載される「無添加グルテンフリー食パン」メニューに従って作製した。米粉と大豆粉、水はマニュアルに従い、あらかじめ冷蔵庫で冷やしたものを使用した。付属のパンケースに米粉(リ・ファリーヌ, 群馬製粉株式会社)と、大豆粉(ダイズラボ, マルコメ株式会社)を様々な配合比率で合計250gになるよう入れ(表1)、プラスチック棒で軽く混合した。これに水220gを添加し、スタートキーを押してパン羽根による攪拌を開始した。21分後、攪拌が自動停止した後、砂糖24g、塩4g、ドライイースト(スーパーカメリア, 日清フーズ株式会社)4.5g、および菜種油4gを添加した。スタートキーを押して攪拌を再開し、その後の発酵・焼成はプログラムに従って自動的に実施された。

### 2. パンの比容積測定

焼成したパンは室温で放冷後、プラスチックフィルムで包装し室温で一晩放置した。翌日、包装を外したパンを重量計測、および、レーザー体積計(SELNAC - WinVM2100A, 株式会社アステックス)による形状計測に供試した。得られた測定値に基づき、パンの膨張性の指標となる比容積を、パン1g当たりのパンの容積(mL/g)として算出した。

### 3. 粗精製大豆イソフラボンを配合した米粉パンの作製

1.と同様に、ホームベーカリーKBD-X100(タイガー魔法瓶株式会社)を使用し、「無添加グルテンフリー食パン」メニューで作製した。あらかじめ冷蔵庫で冷やした米粉(リ・ファリーヌ)と水、大豆イソフラボン(ソヤフラボンHG, 不二製油株式会社)を使用した。米粉250gと、1~20gの粗精製イソフラボンを付属のパンケースに入れ、プラスチック棒で軽くかき混ぜた後、水220gを添加し、スタートキーを押して攪拌を開始した。21分経過し、生地の攪拌が自動停止した後、砂糖24g、塩4g、ドライイースト(スーパーカメリア)4.5g、

菜種油 4g を添加し、スタートキーを押して攪拌を再開した。その後の生地発酵、およびパンの焼成はプログラムに従って自動的に実施された。

#### 4. パンの微細構造観察

パンの微細構造観察は株式会社東海電子顕微鏡解析に委託した。焼成後のパンを液体窒素で冷凍し、-20℃で真空乾燥した。オスミウム・プラズマコーター（日本レーザー電子株式会社製、NL-OPC80NS）を使用して、乾燥したパンを厚さ 50nm のオスミウム膜でコーティングし、観察用サンプルを作製した。走査型電子顕微鏡 JSM-6340F（日本電子株式会社）を使用し、加速電圧 5.0kV で観察した。

#### 5. 栄養成分分析とイソフラボンの定量

パンの栄養成分分析およびパン、大豆粉に含まれるイソフラボンの定量分析は一般財団法人日本食品分析センターに委託した。水分は常圧加熱乾燥法、蛋白質はケルダール法、脂質は酸分解法、灰分は直接灰化法、ナトリウムは原子吸光光度法、イソフラ

ボンは高速液体クロマトグラフ法による。

## 結果および考察

### 1. 大豆粉を配合した米粉パンの評価

大豆粉と米粉を総量が 250g になるよう、様々な比率で配合してパンを作製した。大豆粉の量が 100g を超えると生地が硬くなり、攪拌用の羽根が空回りするなど、パンの作製が困難になったので、大豆粉の配合は 100g までにとどめた。表 1 にパンの比容積 (mL/g)、イソフラボン配合率 (w/w %) と、10 年以上製パン研究の経験を有する担当者が判断した「きめの細かさ」、「味・香りと食感」、「色合い」の評価結果を記載した。◎は「非常によい」、○は「よい」、△は「あまりよくない」、×は「悪い」を示す。大豆粉のイソフラボン濃度は 0.4% (w/w) であったため、焼成後のパンに含まれるイソフラボン配合率 (w/w %) を以下により算出した：

$$\text{大豆粉添加量 (g)} \times 0.004 (\text{イソフラボン濃度}) / \text{焼成パンの測定重量 (g)} \times 100$$

表 1 大豆粉を配合した米粉パンの比容積および官能評価

試料番号	大豆粉・米粉比率 (合計 250g)	イソフラボン配合率 (w/w %)	パン比容積 (mL/g)	きめの細かさ	味・香りと食感	色合い
1	0:250	0	3.92	◎	◎	◎
2	10:240	0.0097	3.79	○	◎	◎
3	20:230	0.0192	2.36	△	○	○
4	50:200	0.0465	1.81	×	△	×
5	100:150	0.0902	1.31	×	×	×

官能評価：◎,非常によい；○,よい；△,あまりよくない；×,悪い

表 1 に示されるように、大豆粉を 10g 以上配合するとパンの膨らみときめの評価が低下した。20g 以上配合すると、味・香りと食感、色合いも悪くなっ

た。パンの断面写真（図 1A）からも、大豆粉の配合によりパンの膨らみ（高さ）が低下し、きめが粗くなることが明らかである。

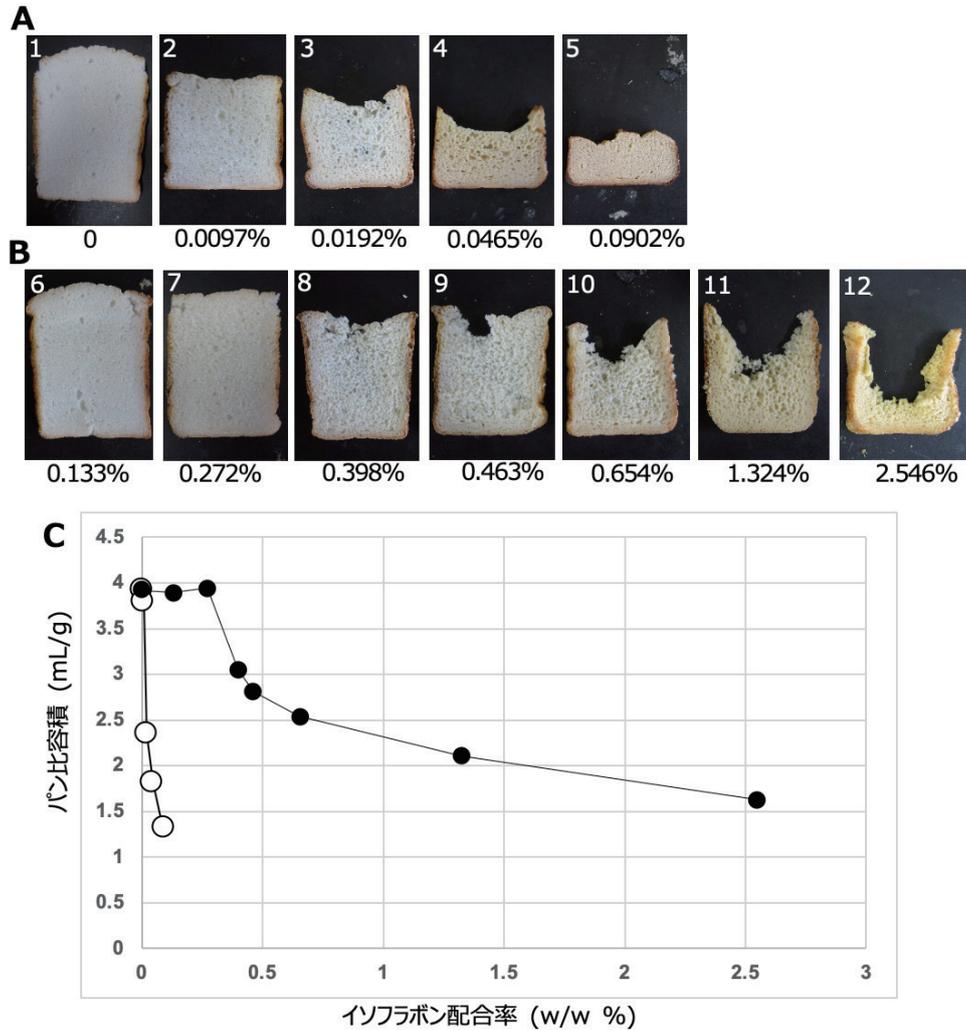


図1 大豆粉(A)および大豆イソフラボン(B)を配合した米粉パンの断面図. 写真下に示された数値は焼成後のパンにおけるイソフラボン配合率 (w/w %) を示す  
C, 大豆粉を配合した米粉パン(○)と粗精製大豆イソフラボンを配合した米粉パン(●)でのパン比容積の比較

## 2. 粗精製大豆イソフラボンを配合した米粉パンの評価

不二製油株式会社から食品用に販売される粗精製大豆イソフラボン(ソヤフラボンHG, イソフラボン濃度 55.8%)を配合したグルテン不使用米粉パンの評価結果を表2に, 断面図を図1Bに示す. 焼成後のパンに含まれるイソフラボン配合率(w/w%)は以下により算出した:

$$\text{粗精製イソフラボン添加量 (g)} \times 0.558 (\text{イソフラボン濃度}) / \text{焼成パンの測定重量 (g)} \times 100$$

表2に示すように, イソフラボン配合率が0.272%(w/w)以下では, 無添加のパンと比容積が同程度であり, 「きめの細かさ」, 「味・香りと食感」, 「色合い」ともに「非常によい」という結果が得られた.

表2 粗精製大豆イソフラボンを配合した米粉パンの比容積および官能評価

試料番号	イソフラボン添加量 (g)	イソフラボン配合率 (w/w %)	パン比容積 (mL/g)	きめの細かさ	味・香りと食感	色合い
1	0	0	3.92	◎	◎	◎
6	1	0.133	3.9	◎	◎	◎
7	2	0.272	3.94	◎	◎	◎
8	3	0.398	3.05	○	○	○
9	3.5	0.463	2.81	○	△	○
10	5	0.654	2.54	△	×	△
11	10	1.324	2.11	×	×	×
12	20	2.546	1.63	×	×	×

官能評価：◎，非常によい；○，よい；△，あまりよくない；×，悪い

### 3. 大豆粉，粗精製イソフラボン添加の比較

米粉生地到大豆粉，あるいは粗精製イソフラボンを添加した場合の，イソフラボン配合率に対するパン比容積 (mL/g) を比較すると，後者でイソフラボンを多く配合できることが明らかである (図1C)．本研究で，大豆成分を添加するためのベースとした100%米粉パンは，その原料にグルテンや増粘剤を使用せず，微粒子型フォームの原理で発酵生地が膨らむ<sup>5)</sup>．界面活性剤が油を取り囲んで水相に油滴を分散させるエマルションや，界面活性剤が空気を取り囲んで水相に分散させるフォーム (泡) と似たメカニズムで澱粉粒が発酵ガスを取り囲み，「シャボン玉」の集合体のような柔らかい生地を形成するため，高分子ネットワークが発酵ガスを捕捉する小麦粉生地や増粘剤を添加した米粉生地と比較して不安定である．このため，他の原料を配合する際には，その種類や量が限定されると推測される．今回の実験結果により (表2，図1B)，0.272% (w/w) 以下のイソフラボン自体の配合はパンの品質を阻害しないことがわかった．図2は，イソフラボンを添加したパン (B, C) の微細構造を電子顕微鏡観察により無添加のもの (A) と比較したものである．表面の状態や多孔構造に顕著な差は見られない．また，成分分析でもイソフ

ラボン添加で差は見られなかった (データ省略) ことから，イソフラボンは米澱粉粒と発酵ガスによる微粒子型フォームの形成を阻害しないことが推測される．一方，大豆粉には蛋白質や脂質，糖質など様々な成分が含まれ，生地への添加が微粒子型フォームの形成を阻害したと考えられる．今後の研究により，大豆粉のどの成分が生地の膨らみを阻害したのか明らかになれば，サポニンやポリフェノール，食物繊維など，イソフラボン以外の大豆機能性成分を配合できる手法の開発につながると期待できる．

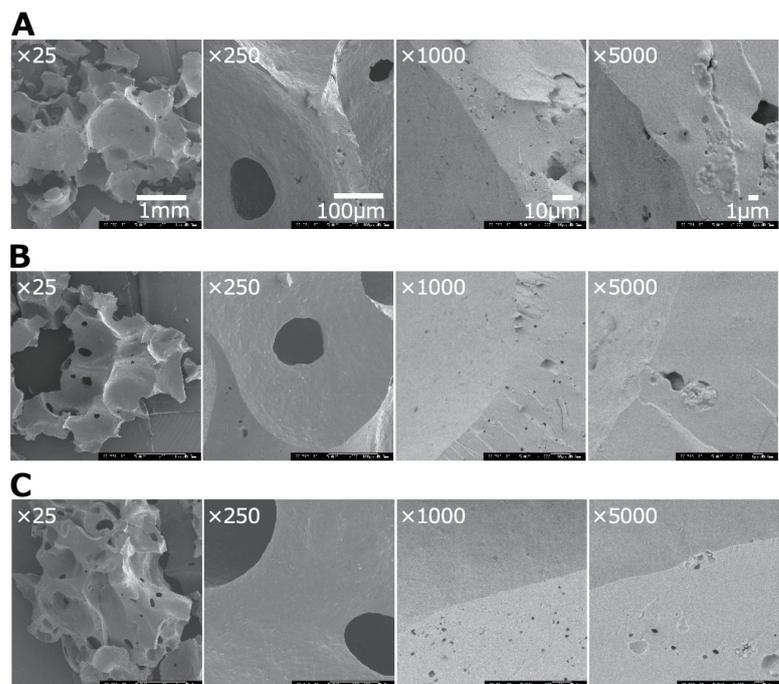


図2 粗精製大豆イソフラボンを配合した米粉パンの電子顕微鏡観察  
A, 無添加; B, C: イソフラボンを0.272% (w/w) および0.654% (w/w) 配合

#### 4. パンからのイソフラボン摂取に関する考察

焼成後のパンに含まれるイソフラボンを定量したところ、イソフラボンを0.272% (w/w) 配合した場合 (No.7) にイソフラボン総量 (アグリコンと配糖体の合計) で0.15%が検出され、このうちアグリコンは0.089%であった。また、0.654%を添加した場合 (No.10) には、イソフラボン総量で0.34%、アグリコンのみで0.19%が検出された。パン1枚はおおよそ50~60g程度<sup>7)8)</sup>の重量であるため、前者 (No.7) の場合、パン半枚 (25~30g) あたり22~27 mgのアグリコンが含まれることになり、食品安全委員会が設定した1日の上乗せ摂取量 (アグリコン換算で30mg) をほぼ摂取できる。パンは切断などにより容易に重量をコントロールできるため、納豆や豆腐、蒸し大豆など、その日に摂取した他の大豆製品を勘案しながら、イソフラボン添加パンからの摂取量を調整することができる。

#### 5. 結び

本研究により、グルテン・増粘剤不使用の100%米粉パンに、その品質を損なわずに十分量のイソフラボンを配合することができた。今後もパンの高品質・高付加価値化の研究を継続したい。

本研究成果について特許を出願した (特願2018-101056)。本研究成果の一部は、公益財団法人不二たん白質研究振興財団より助成を受けたものであり、2019年6月に発行される同財団報告書「大豆たん白質研究」に収録予定である。粗精製イソフラボンは同財団から提供いただき感謝いたします。

### 要 約

女性ホルモンのひとつ、エストロゲンと似た構造をもつ大豆イソフラボンは、種々の健康増進作用をもつ。本研究では大豆イソフラボンを継続して少しずつ摂取できるグルテン不使用パンの開発を検討した。著者らが最近開発したパン生地に粗精製イソフラボン (有効濃度55.8%) を配合すると、パンの比容積は無添加と同等の4ml/g程度を維持し、きめ・色合いなどの外観、味・香り・食感なども顕著な低

下が見られなかった。焼成後のパンはイソフラボン総量で0.15% (w/w)、アグリコン換算で0.089% (w/w) のイソフラボンを含有した。パン半枚 (25~30g) あたり22~27 mgのアグリコンが含まれることになり、食品安全委員会が設定した1日の上乗せ摂取量 (アグリコン換算で30mg) をほぼ摂取できる。

### 文 献

- 1) 岩狭與三郎 (1940). 大豆. 家事と衛生, **16**, 7-26.
- 2) Goto, K. (2013). Market trend, food functional study trend and product strategy of the products of the soybean. J. Brewing Soc. Japan (*Nippon Jōzō-kyōkai-shi*), **108**, 796-801 (後藤一寿. 大豆の製品別市場動向・機能性研究動向と企業の製品戦略, 日本醸造協会誌).
- 3) Namba, F. (2018). A study of attitude to uncleanness on daily life and eating behavior in female college students and female high school students. J. Integr. Study Diet. Habits. (*Nihon Syokuseikatsu Gakkaishi*), **28**, 225-229 (難波文男. 大豆食品と健康, 日本食生活学会誌).
- 4) Ishimi, Y., and Ikegami, S. (1998). Benefits and risks of soybean isoflavonoids. Journal of Japan Society of Nutrition and Food Science (*Nippon Eiyō Shokuryō Gakkaishi*), **51**, 294-298 (石見佳子, 池上幸江. 大豆イソフラボンの有効性とリスク, 日本栄養・食糧学会誌).
- 5) Yano, H., Fukui, A., Kajiwara, K., Kobayashi, I., Yoza, K., Satake, A., and Villeneuve, M. (2017). Development of gluten-free rice bread: Pickering stabilization as a possible batter-swelling mechanism. *LWT-Food Sci. Technol.*, **79**, 632-639.
- 6) Hayakawa, F., Kazami, Y., Sekiyama, Y., and Yano, H. (2019). Quality evaluation study on

the gluten-free rice breads. *Bull. NARO Food Res. (Noukenkikou Kenkyuu Houkoku Syokuhin kenkyuu Bumon)*, **3**, *in press* (早川文代, 風見由香利, 関山恭代, 矢野裕之. グルテン不使用米粉パンの品質評価研究, 農研機構研究報告 食品研究部門).

- 7) Kurotobi, T., Fukuhara, K., Inage, H., and Kimura, S. (2010). Glycemic index and postprandial blood glucose response to Japanese strawberry jam in normal adults. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **56**, 198-202.
- 8) Kinoshita, N. (1988). A survey on dietary life of the students of our college. *Bull. Hokkaido Women's College (Hokkaido Joshi Tanki Daigaku Kenkyuu Kiyou)*, **23**, 135-156 (木下教子. 本学寮生の食生活状況調査, 北海道女子短期大学研究紀要).

#### 引用 URL

- i) [www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc\\_isoflavone180309\\_4.pdf](http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc_isoflavone180309_4.pdf) (2018. 10. 1)
- ii) <https://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/hokenkinou/dl/15.pdf> (2018. 10. 1)

