

グルテンフリー米粉パンの膨化に対する山芋粉の影響

松 森 慎 悟*

Effect of Yam Powder on Swelling of Gluten-Free Rice Flour Bread

Shingo MATSUMORI*

Abstract

In recent years, rice flour has been used as a substitute for wheat flour in various processed foods, including bread and confectionery. However, rice flour lacks gluten, which results in a lack of dough elasticity and makes it challenging to retain air bubbles. Therefore, we created rice flour bread using yam powder (1%, 3%, 5%), which is relatively easy to obtain for households, and investigated its impact on the swelling of rice flour bread. In terms of shape measurements, the partial yam powder-substituted rice flour bread showed significantly higher values in terms of volume and specific volume compared to the control rice flour bread, indicating an improvement in swelling when using yam powder. In the viscosity measurement of the dough, an increase in viscosity was observed with the use of yam powder, and significant differences were observed among the various samples. The use of yam powder resulted in an increase in dough viscosity, contributing to the specific volume and height of the rice flour bread. However, as the amount of yam powder used increased, the specific volume and height of the rice flour bread tended to decrease, suggesting that with the increase in viscosity, oven spring during baking was adversely affected. In the hardness measurements, it was observed that each yam powder-substituted rice flour bread had significantly lower values in the crumb compared to the control rice flour bread, indicating that the use of yam powder resulted in a softer crumb. Based on the above results, substituting a portion of rice flour with yam powder (1-3%) when producing gluten-free rice flour bread was shown to increase volume and specific volume while reducing the hardness of both the crust and crumb. Thus, using yam powder was suggested to contribute to the swelling of rice flour bread.

キーワード：グルテンフリー、米粉パン、山芋粉、膨化、硬さ

Key words : gluten-free, rice flour bread, yam powder, swelling, hardness

*人間健康学部 健康栄養学科

1. 諸言

近年、米粉は小麦粉の代替としてパン類や菓子類など様々な加工食品に利用されており、農林水産省が掲げる食料自給率低下防止の一環として¹⁾、米粉の普及はその一助となっている。また、小麦粉には、小麦アレルギーとなるアレルゲン物質が含まれ^{2), 3)}、セリアック病や小麦不耐症なども引き起こすと考えられている⁴⁾ことから、小麦粉を使用しない加工食品の開発が進められ、代替食品として主に米粉が利用されており、その他にも各種雑穀^{5), 6)}や芋類及び豆類の粉末^{7), 8)}を利用した研究がなされている。

小麦粉の代替として使用する際の米粉の欠点は、グルテンを形成できないことである。小麦粉にはグリアジンとグルテニンが含まれるため、加水して捏ねることによってグルテンネットワークを形成し、生地に気泡が保持されて膨化する。しかし、米粉にはグルテンがないことから生地中に気泡を保持することが難しく、作製過程において二酸化炭素が外部に散逸し、膨化の乏しい仕上がりとなる。また、グルテンは粘弾性を有するため、グルテンのない米粉生地は、流動性のあるバッテリーに近い状態となり扱いにくい生地になる。このような欠点を補うために、米粉生地に粘性物質を添加した研究が数多く報告されており、特に増粘多糖類を添加して調整した米粉パンとして、ヒドロキシプロピルメチルセルロース^{5), 6)}、キサントガム⁹⁾、キチンナノファイバー^{10), 11)}、アルギン酸¹⁰⁾、グルコマンナン^{10), 12)}など製パン性が向上したとの報告がなされているが、いずれも一般家庭では入手しにくい材料であるため、比較的入手しやすく、家庭でも手軽に作製できるように粘りの出やすい食材として山芋に着目した。

山芋は、ヤマノイモ科ヤマノイモ属のつる性の多年草で、すりおろすことで特有の粘りが出る^{13), 14)}が、これは粘性のある糖たんぱく質で

あるムチンに由来するもので、製パンにおいて、その他の増粘多糖類と同様の作用を及ぼすことが期待できる。

そこで本研究では、一般家庭でも比較的手に入りやすく、生の山芋よりも再現性のある山芋粉を使用して米粉パンを作製し、山芋粉の利用が米粉パンの形状、水分含量、生地の粘度、クラストの色調、米粉パンの硬さに及ぼす影響について検討した。また、小麦粉以外の食物アレルゲンとして、牛乳・乳製品及び卵を添加しない米粉パンを調整し、水分には、製パン性や美味しさを向上させるという報告¹³⁾があることから、水ではなく調整豆乳を用いた。山芋粉を使用しない米粉パン（以下コントロール米粉パンと示す）と米粉の一部を山芋粉に置換（1%、3%、5%）した米粉パン（以下山芋粉置換米粉パンと示す）をそれぞれ作製し、山芋粉が製パン性に及ぼす影響について比較検討した。

2. 実験方法

(1) 材料

小麦粉の代替品として米粉（株式会社富澤商店）を使用し、米粉パンを膨化させるために山芋粉（株式会社富澤商店）を使用した。その他の材料として、はちみつ（株式会社加藤美峰園本舗）、トレハロース（株式会社富澤商店）、食塩（公益財団法人塩事業センター）、イーストはインスタントドライイースト（日仏商事株式会社）、サラダ油（日清オイリオグループ株式会社）、調整豆乳（キッコーマンソイフーズ株式会社）を使用した。

(2) 米粉パンの作製方法

1) 配合割合

各米粉パンの分量および配合割合を表1に示した。標準試料となるコントロール米粉パンの配合割合は、予備実験を行い、出来上がりの性

表1. 米粉パンの分量及び配合割合

	米粉 (g)	山芋粉 (g)	はちみつ (g)	トレハロース (g)	塩 (g)	イースト (g)	サラダ油 (g)	調整豆乳 (g)
コントロール	60.0	0.0	3.0	2.4	0.6	1.2	3.6	69.0
山芋粉1%	59.4	0.6	3.0	2.4	0.6	1.2	3.6	69.0
山芋粉3%	58.2	1.8	3.0	2.4	0.6	1.2	3.6	69.0
山芋粉5%	57.0	3.0	3.0	2.4	0.6	1.2	3.6	69.0
ペーカースパーセント	-	1.0・3.0・5.0	5.0	4.0	1.0	2.0	6.0	115.0

ペーカースパーセント:米粉を100%としたときの各材料の配合割合(%)

状や作製のしやすさ等から、米粉の重量に対して、はちみつ5.0%、トレハロース4.0%、塩1.0%、インスタントドライイースト2.0%、サラダ油6.0%、調整豆乳115.0%とした。

山芋粉入り米粉パンは、米粉の一部をそれぞれ1%、3%、5%の山芋粉に置換し、その他の材料はコントロール米粉パンと同様の配合割合で作製した。

2) 調整方法

米粉等の粉類に調整豆乳、はちみつ、サラダ油を混ぜ合わせたものを加え、生地温度が30℃前後になるよう調整し、1分間ゴムベラで攪拌した。つづいて、50mmのセルクル型へ1個30gの生地を注入し、温度38℃、湿度80%に設定した発酵機(サンキャビネット:三幸機械株式会社)にて30分間発酵させた。その後、上火160度、下火120度に設定したオープン(ニューコンポオープン:三幸機械株式会社)で15分間焼成を行った。

(3) 実験方法

1) 形状測定

重量は、デジタルスケール(株式会社エー・アンド・デイ FX3000i)を用い、体積は菜種置換法で測定し、その結果より比容積を算出した。外径と高さは、デジタルノギス150mm(シンワ測定株式会社)を用いて、1つの試料につき3か所を任意に計測し、その平均値を算出し

た。また、米粉パンを上下に2分割し、断面をデジタルカメラで接写した。

2) 生地及び米粉パンの水分含量

生地の水分含量は、加熱乾燥式水分計(株式会社エー・アンド・デイ MF-50)を使用して測定した。測定方法は、攪拌終了直後の生地を試料皿に載せ、その上に試料表面の炭化を防ぐためのガラス繊維シートを載せて測定した。測定条件は、加熱乾燥式水分計の測定方法に従い、測定温度を120℃、試料重量を5gとし、1分間前との水分変化率が0.20%以下になるまで加熱し、その時の値を水分量として算出した。

米粉パンは、厚さ2~3mmの輪切りとし、試料同士が重ならないよう試料皿に載せ、その上にガラス繊維シートを載せて測定した。測定条件は、測定温度を110℃とし、それ以外は前述と同様の条件で行った。各試料共に3点測定し、その平均値を算出した。

3) 生地の粘度測定

粘度測定は、コーン・プレート形粘度計(東機産業株式会社 TP-200E型)を使用して測定した。測定方法は、攪拌終了直後の生地を用いて、測定温度30℃、回転速度10rpm、コーンロータ標準01(1°34'×R24)で測定した。各試料共に3点測定し、その平均値を算出した。

4) クラストの色調測定

色調測定は、色差計(日本電色工業株式会社 SE6000)を用いて、L*値(明度)、a*値(彩度)、

b* 値（色相）を1つの試料につき3か所の表層を任意に測定し、その平均値を算出した。

5) 破断測定

破断測定は、クリープメーター（株式会社山電 RE2-3305B）を使用して測定した。測定試料は、米粉パンの表層上部から圧縮したときの応力を測定した。測定条件は、歪率90%、プランジャーは直径3mmの円筒形（No.66）、ロードセル20N、測定速度1mm/secとして測定した。また、測定結果から、最初に応力が減少した地点をクラストの硬さとし、その時の歪率を破断歪率、破断点から垂線を下して得られた面積をクラストの破断エネルギーとした。また、歪率60%の応力をクラムの硬さとし、その点から垂線を下して得られた面積からクラストの破断エネルギーとした面積を除いた面積をクラムの破壊に伴うエネルギー値として比較することとした。

6) 統計解析方法

解析は、エクセル統計（株式会社社会情報サービス）を用いて、試料間の差を確認するために一元配置分散分析および Tukey-Kramer 法に

よる多重比較検定を行った。

3. 実験結果及び考察

(1) 米粉パンの形状測定

各米粉パンの形状測定の結果を表2、米粉パンの断面の写真を図1に示した。重量については、コントロール米粉パンと各山芋粉置換米粉パンとの間に有意差は認められなかった。また、山芋粉5%米粉パンは、山芋粉1%米粉パン及び山芋粉3%米粉パンより有意に高値を示した。焼成前の生地重量は30gであり、焼成することにより水分が蒸発し、重量が減少するが、山芋粉を使用しても焼成後重量の増減に影響がないことが示された。

体積については、各山芋粉置換米粉パンはコントロール米粉パンと比較して有意に高値を示し、山芋粉5%米粉パンは、山芋粉1%米粉パンより有意に低値を示した。米粉にはグリアジンとグルテニンが存在しないため、グルテンを形成することができない。そのため、生地には粘弾性がなく、イーストが生成する炭酸ガスを保持することが難しい。しかし、米粉の一部

表2. 各米粉パンの形状測定値

	重量 (g)	体積 (cm ³)	比容積 (cm ³ /g)	外径 (cm)	高さ (cm)
コントロール	27.08 ± 0.20 ^{ab}	37.87 ± 3.22 ^c	1.40 ± 0.10 ^c	45.98 ± 0.90 ^a	23.66 ± 1.17 ^d
山芋粉1%	26.93 ± 0.23 ^b	48.33 ± 4.65 ^a	1.80 ± 0.17 ^a	45.19 ± 0.90 ^b	30.45 ± 2.63 ^a
山芋粉3%	26.90 ± 0.21 ^b	47.42 ± 2.66 ^{ab}	1.76 ± 0.09 ^{ab}	44.98 ± 0.75 ^b	28.46 ± 3.06 ^b
山芋粉5%	27.29 ± 0.23 ^a	45.65 ± 2.55 ^b	1.67 ± 0.06 ^b	45.33 ± 0.57 ^b	26.46 ± 1.28 ^c

average ± S.D. (n ≥ 11)、a, b, c, d: 異符号間がP < 0.05で有意

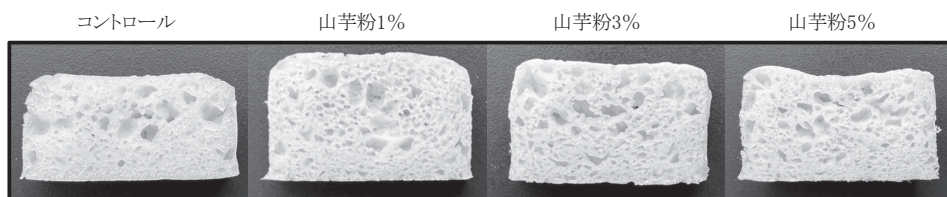


図1. 各米粉パンの断面

を山芋粉に置換することで、生地粘度が上昇し、炭酸ガスの保持力が上昇すると考えられる¹⁴⁾。これまでも米粉に増粘多糖類を添加して調整したパンの膨化に対する影響について報告されている^{9)~12)}が、山芋粉も生地粘度が上昇することによる膨化の向上が認められた。しかし、山芋粉を5%置換すると粘度が高くなりすぎて生地が硬くなり、膨化の促進が抑制されると考えられた。

比容積についても体積と同様に各山芋粉置換米粉パンの方が、コントロール米粉パンと比較して有意に高値を示し、山芋粉5%米粉パンは、山芋粉1%米粉パンより有意に低値を示した。図1の各米粉パンにおける断面の写真からも、各山芋粉置換米粉パンの方がコントロール米粉パンよりも膨化していることが認められ、山芋粉を5%置換すると米粉パン上部に凹みが見られることから、山芋粉は1~3%の使用が膨化させるためには適当であることが示唆された。

外径については、コントロール米粉パンが山芋粉置換米粉パンより有意に高値を示し、高さについては、全ての試料間において有意差が認められ、山芋粉1%米粉パンが最も高値を示した。山芋粉置換米粉パンの外径が低値を示した理由は、コントロール米粉パンより高さが高値を示していることから、釜伸びが起ることによって外径が縮んだと考えられる。また、高さについては、山芋粉を使用することで増加す

るが、使用量の増加に伴い減少することが示された。

(2) 生地及び米粉パンの水分含量

各生地及び米粉パンの水分含量の結果を表3に示した。生地及び米粉パン共に試料間における有意な差は認められなかった。生地の水分含量については、各生地共に調整豆乳の配合割合を115.0%として作製しており、理論値における水分含量(49.36%)と若干の誤差はあるものの変化はほとんど見られなかった。また、米粉パンの水分含量については、山芋粉5%米粉パンにおいて増加傾向が見られたが、山芋粉の使用による水分含量の増減は示されなかった。

(3) 生地の粘度

各生地の粘度測定の結果を表3に示した。粘度については、全ての試料間において有意差が認められ、山芋粉5%米粉生地が最も高値を示した。山芋は、粘性のある糖たんぱく質を含んでいるため、生の山芋をすり下ろしたり、粉末の山芋粉に加水して練ったりすることで特有の粘性が生じ、様々な加工食品に利用されている。大崎らの報告⁹⁾では、キサンタンガムの添加により、比容積が増加し、中村らの報告¹²⁾では、グルコマンナンの添加により、生地粘度や米粉パンの比容積が増加傾向を示したとされている。山芋粉も各種増粘多糖類と同様に、

表3. 各生地の水分含量及び粘度と各米粉パンの水分含量

	生地		米粉パン
	水分(%)	粘度(Pa·s)	水分(%)
コントロール	49.08 ± 0.15 ^a	0.53 ± 0.02 ^d	42.65 ± 0.73 ^a
山芋粉1%	49.13 ± 0.16 ^a	0.60 ± 0.06 ^c	42.79 ± 0.59 ^a
山芋粉3%	49.18 ± 0.05 ^a	0.71 ± 0.04 ^b	42.22 ± 0.36 ^a
山芋粉5%	49.05 ± 0.10 ^a	0.90 ± 0.06 ^a	43.11 ± 1.04 ^a

average ± S.D. (n ≥ 3)、a,b,c,d: 異符号間がP < 0.05で有意

生地を使用することで粘度が上昇し、米粉パンの比容積や高さに寄与することが示された。しかし、使用量を増加すると米粉パンの比容積や高さは減少する傾向が認められ、粘度の上昇に伴い焼成時の釜伸びが悪くなると考えられる。

(4) クラストの色調測定

各米粉パンのクラストにおける色調測定の結果を表4に示した。明るさを示すL*値については、コントロール米粉パンが山芋粉置換米粉パンより有意に低値を示し、コントロール米粉パンの方が暗い色となり、山芋粉の使用により、明るさが向上することが示された。赤みを示すa*値については、コントロール米粉パンと山芋粉1%米粉パンを除く試料間において有意差が認められ、黄色みを示すb*値については、各山芋粉置換米粉パンの方が、コントロール米粉パンと比較して有意に低値を示した。

肉眼で観察したところ、全体的に薄い白黄色

をおびており、各試料間における色調の差は認められず、アミノカルボニル反応による非酵素的褐変は、いずれの試料においてもあまり起きていないと考えられ、山芋粉の使用による影響はないことが示された。アミノカルボニル反応は、160℃以上になると反応が促進するとされおり¹⁵⁾、今回の米粉パンの焼成温度が160℃であったため、焼き色が薄くなったのではないかと考えられる。しかし、160℃以上の温度で焼成すると米粉パンは硬くなってしまうため、焼き色を付けるためには、卵や乳以外のドリユールを使用するなど今後検討する必要がある。

(5) 米粉パンの破断測定

各米粉パンの破断測定の結果を表5に示した。クラストについては、最初に応力が減少した点を硬さとして求め、各山芋粉置換米粉パンの方がコントロール米粉パンと比較して有意に低値を示し、山芋粉置換米粉パンの試料間には有意

表4. 各米粉パンのクラストにおける色差測定

	L*	a*	b*
コントロール	68.50 ± 1.22 ^b	-3.35 ± 0.15 ^c	15.52 ± 0.94 ^a
山芋粉1%	71.95 ± 1.71 ^a	-3.20 ± 0.14 ^c	14.47 ± 1.13 ^b
山芋粉3%	72.62 ± 1.92 ^a	-3.00 ± 0.22 ^b	14.39 ± 1.13 ^b
山芋粉5%	71.69 ± 2.06 ^a	-2.67 ± 0.29 ^a	14.34 ± 1.16 ^b

L*: lightness, a*: saturation, b*: hue

average ± S.D. (n ≥ 9)、a, b, c: 異符号間がP < 0.05で有意

表5. 各米粉パンの破断測定

	クラスト			クラム	
	硬さ × 10 ³ (N/m ²)	破断エネルギー × 10 ⁴ (J/m ³)	破断歪率 (%)	硬さ × 10 ³ (N/m ²)	破断エネルギー × 10 ⁴ (J/m ³)
コントロール	10.91 ± 2.23 ^a	8.91 ± 2.37 ^a	13.64 ± 1.93 ^a	12.14 ± 2.35 ^a	4.02 ± 0.77 ^a
山芋粉1%	7.19 ± 1.38 ^b	4.09 ± 1.33 ^b	8.57 ± 2.38 ^b	6.42 ± 1.00 ^b	2.86 ± 0.70 ^b
山芋粉3%	7.56 ± 1.26 ^b	4.04 ± 1.41 ^b	8.13 ± 1.34 ^b	9.14 ± 1.66 ^b	3.17 ± 0.55 ^b
山芋粉5%	6.52 ± 0.99 ^b	3.73 ± 1.53 ^b	8.79 ± 2.36 ^b	7.65 ± 2.12 ^b	2.75 ± 0.43 ^b

average ± S.D. (n ≥ 6)、a, b: 異符号間がP < 0.05で有意

差は認められなかった。クラストの破断エネルギー及び破断歪率も硬さと同様の有意差が認められたことから、山芋粉の使用により、クラストの硬さが軽減することが示された。クラストの硬さには、クラストの厚さが関与しており¹⁶⁾、米粉パン上層部の生地が層状になることでクラストが形成されると考えられる。山芋粉置換米粉パンは、体積及び高さにおいて、コントロール米粉パンより有意に高値を示していることから、膨化によりクラスト部分における生地の層が薄くなり、クラストの硬さが軽減したと考えられる。

一方、歪率60%の応力をクラムの硬さとして解析した結果、各山芋粉置換米粉パンの方がコントロール米粉パンより有意に低値を示し、山芋粉を使用することでクラムが柔らかくなることを示された。クラムの硬さは、クラム内部の膨化状態に影響すると考えらる。表2に示すように、各山芋粉置換米粉パンの比容積は、コントロール米粉パンより有意に高い。このことから、各山芋粉置換米粉パンは、クラム内の気泡数が多いため、クラムの硬さが軽減され、破断エネルギーも低値を示したと考えられる。

4. 要約

山芋粉の利用が米粉パンの膨化に対する影響を検討するため、形状測定、水分測定、生地の粘度測定、クラストの色調測定、破断測定を行い、以下の結果を得た。

(1) 形状測定では、重量における山芋粉の使用による影響はなく、体積及び比容積においては、コントロール米粉パンより山芋粉置換米粉パンの方が有意に高値を示し、山芋粉を使用することで膨化の向上が認められた。しかし、山芋粉を5%置換すると生地の粘度が高くなり、体積が減少することが示唆された。

(2) 水分含量は、各生地及び米粉パンにおい

て有意差は認められず、山芋粉の使用による水分含量の増減は示されなかった。

(3) 生地の粘度測定では、山芋粉の使用量に伴い粘度は上昇し、各試料間において有意差が認められ、山芋粉の使用により生地の粘度が上昇し、米粉パンの比容積及び高さに寄与することが示された。しかし、使用量を増加すると米粉パンの比容積や高さは減少する傾向が認められ、粘度の上昇に伴い焼成時の釜伸びが悪くなると考えられた。

(4) クラストの色調測定では、L*値においてコントロール米粉パンが山芋粉置換米粉パンより有意に低値を示し、山芋粉の使用により、明るさが向上することが示された。a*値及びb*値の結果から、各米粉パンのクラストにはアミノカルボニル反応による非酵素的褐変があまり起きていないと考えられ、山芋粉の使用による影響はないことが示された。

(5) 破断測定では、クラストにおいて各山芋粉置換米粉パンの方がコントロール米粉パンと比較して有意に低値を示し、山芋粉の使用によりクラストの硬さが軽減することが示された。また、クラムにおいては各山芋粉置換米粉パンの方がコントロール米粉パンより有意に低値を示し、山芋粉を使用することでクラムが柔らかくなることを示された。

以上の結果から、グルテンフリー米粉パンを作製する際に米粉の一部を山芋粉に置換(1~3%)することで、体積及び比容積が上昇し、クラスト及びクラムの硬さが軽減することが示され、山芋粉の使用が米粉パンの膨化に寄与することが示唆された。

5. 利益相反

本稿における利益相反に相当する事項はない。

6. 参考文献

- 1) 農林水産省 米粉の用途別基準／米粉製品の普及のための表示に関するガイドラインについて https://www.maff.go.jp/chushi/kome_syoukaku/komeko/attach/pdf/180315-2.pdf (2023年10月2日アクセス可能)
- 2) 香西はな、矢野博己、加藤保子 (2006) 小麦タンパク質とアレルギー～小麦依存性運動誘発アナフィラキシーに注目して～、川崎医療福祉学会誌、16、11-19
- 3) 森田栄伸 (2023) 小麦アレルギーを克服する～リコンビナント小麦アレルゲンによる診断から低アレルゲン小麦の開発まで～、日本農村医学会誌、71、458-461
- 4) 福永真衣、石村典久、石原俊治 (2021) I . セリアック病、日本大腸肛門病会誌、74、572-580
- 5) 石井和美、小林三智子 (2020) キヌア粉で調整した生地と製パン性に関する研究、十文字学園女子大学紀要、51、61-69
- 6) 石井和美、小林三智子 (2021) ホワイトソルガム粉で調製した生地と製パン性に関する研究、日本家政学会誌、72、95-104
- 7) 伊藤聖子、木川梨沙、新井映子 (2013) 米粉パンの老化に及ぼすイモ類粉末の影響、日本調理科学会誌、46、254-261
- 8) 吉田真美、齋藤 (大越) 麻美、富井架乃、他 (2019) 大豆粉と米粉を主材料としたグルテンフリーパンの調製とその特性、日本調理科学会誌、52、192-203
- 9) 大崎聡子、市川朝子 (2012) グルテンフリー米粉パンの物性と食味に及ぼす絹フィブロインおよびキサントガムの影響、日本調理科学会誌、45、9-18
- 10) 井上優利、手島陽子、大塚 真結、他 (2019) コメピューレ及び増粘多糖類の添加がグルテンフリー米粉パンの物性及び食味に及ぼす影響、70、799-810
- 11) 上中弘典、田中裕之、磯和由希子、他 (2021) グルテンフリー米粉パンの膨化に対するキチンナノファイバーの影響、農業生産技術管理学会誌、27、109-113
- 12) 中村理乃、手島陽子、三浦美代子、他 (2016) グルコマンナンの添加がグルテンフリー米粉パンの物性、食味及び老化に及ぼす影響、日本家政学会誌、67、141-150
- 13) 新井映子 (2020) グルテンフリー米粉パンの膨化に対する豆乳の効果、日本調理科学会誌、53、230-237
- 14) 香田智則、西岡昭博 (2017) グルテンを用いない米粉パンの製造技術、日本調理科学会誌、50、1-5
- 15) 竹谷光司 (2006) 新しい製パン基礎知識改訂版、p.150. 株式会社パンニュース社、東京.
- 16) 葛西大介、輿水美奈、大庭潔、他 (2016) ベタイン添加食パン生地の製パン性の改善、日本食品科学工学会誌、63、405-414