

臼式粉碎機で粉碎したささげ豆の添加が パンの特性に及ぼす影響

折田 綾音 沖 智之

Effect of the addition of cowpea ground in a mortar mill on bread properties

Ayane Orita Tomoyuki Oki

(2022年12月12日受理)

1. 緒言

豆類はたんぱく質やミネラルなどの栄養素が豊富であり、ガン予防の観点からも摂取が推奨されている食素材である¹⁾。さらに種皮色が黒や茶をした豆類は、その種皮中に、健康の維持・増進や特定の疾病の予防に効能がある、すなわち健康機能性を有するアントシアニンやプロアントシアニジンなどのポリフェノールを豊富に含んでいる²⁾。そのため、豆類は栄養と機能性の両面から、利用価値の高い食材であると考えられている。しかしながら、ここ20年間における、豆類の平均摂取量は約50～60 g/日/人を推移³⁾しており、健康日本21（第1次）における、豆類の一日当たりの平均摂取量の目標値（成人、100 g以上）⁴⁾を下回っていることから、豆類は摂取量の増加が望まれている食材のひとつである。他方、豆類は一般的に加熱調理が不可欠であり、日本における豆類の調理法は、大豆などの一部の豆類を除いては、小豆に代表されるように、赤飯や煮物、また菓子に用いられる餡子などの料理での利用に留まっており、食素材としての用途は限定されているのが現状である。

本研究で着目したササゲ豆は、日本の伝統的な食素材のひとつであり、その形状が小豆に似ていることから、小豆と同様に調理されることが一般的である。また、ササゲ豆が小豆と比較して、ビタミンB₁をはじめとする栄養成分⁵⁾やファイトケミカル的一种であるポリフェノール⁶⁾に富むことが明らかになっており、その摂取により健康の維持・増進が期待されている。ササゲ豆は日本での認知度は低い豆類であるが、海外での生産量は多く、その生産量はマメ科作物の中で世界第4位であり⁷⁾、干ばつや熱波に強く栽培が容易なことから、アフリカ地域を中心に生産が盛んな豆類である。それら地域では、豆そのものの形状で料理に用いる他、粉末状にしたもの

を小麦粉と混合し、パンや団子などの原料として幅広く活用している⁸⁾。

近年、我が国では朝食にパンを主食として食べる人の割合が米飯を上回っており⁹⁾、米飯では納豆、煮豆、豆腐のような豆類の加工品を副菜として摂取する機会が多いが、パンでは豆類の加工品を組み合わせることは、やや困難である。そのため、朝食における豆類の摂取量は減っていると推察され、朝食に適した豆類を添加したパンを作製することで、豆類の摂取量の増加が達成できると考えられた。これまでに、豆類を添加したパンについて、粉末状にした大豆、いんげん豆、小豆などの豆類を用いてパンを作製し、実用性について検討した報告^{10) 11)}はあったが、粉末状にした国産のササゲ豆で加工特性を調査した報告は見当たらない。そこで本研究では、ササゲ豆の多様な加工品への利用を展開するための一助として、国産のササゲ豆を粉末状に加工し、得られたササゲ豆粉を一般的な主食であるパンの主原料、すなわち小麦粉と置換したパンを試作し、品質評価をおこなうことによりササゲ豆粉のパンへの利用可能性について検討した。

2. 方法

(1) 試料および材料

ササゲ豆粉：ササゲ豆は、2020年度に岡山県で収穫された赤ササゲ豆を用いた。ササゲ豆の粉碎は、家庭用臼式粉碎機（粉エース（A-8）製粉機、國光社製）でおこなった。ササゲ豆粉はステンレス製篩（目開き、250 μm）で篩分けし、篩を通ったものを試料に用いた。

パンの材料：ササゲ豆粉以外の材料（強力粉、ドライイースト、ショートニング、砂糖、塩）はすべて市販品を用いた。

(2) パンの作製方法

表1にパン生地の原料配合割合を示した。ササゲ豆粉を添加する場合は、強力粉の重量に対して10%、20%、30%の割合でササゲ豆粉へ置換した。また、強力粉をササゲ豆粉で置換したパンとの比較に、ササゲ豆粉の置換割合が0%（無置換）のパンを作製した。パン原料の分量は、日本パン公正取引協議会の定める1斤の焼き上がり重量である340 g以上500 g以下となるように調整した¹²⁾。製パンは、自動ホームベーカリー（HB-100、エムケー精工）を用い、食パン標準コース（直捏法）でおこなった。なお、すべての工程（ねり、ねかし、発酵、焼成）に要した時間は合計で3時間50分であった。パンは焙焼後、20℃で1時間放冷してから試験に供した。パンの作製は、それぞれの原料配合割合において、2回おこなった。

表1 パン生地の原料配合割合

	ササゲ豆粉置換割合			
	無置換	10%	20%	30%
ササゲ豆粉 (g)	—	25	50	75
強力粉 (g)	250	225	200	175
ドライイースト (g)		1.3		
砂糖 (g)		32.5		
食塩 (g)		2.5		
ショートニング (g)		2.5		
水 (g)		167.5		

(3) パンの体積の測定および比容積の算出

パンの体積は、放冷後のパンを切断せずに、そのまま菜種置換法¹³⁾で測定した。パンの比容積は、菜種置換法で求めたパンの体積をパンの重量で除して算出した (mL/g)。

(4) 色調の測定

パンの色調は、色彩色差計（カラーリーダー CR-20、コニカミノルタ社製）を用いて、観察光源 D65および観察条件10°視野でL*a*b*を測定した。測定は1斤のパンにつき、外相および内相でそれぞれ10か所おこなって、平均値を求めた。

(5) 硬さの測定

硬さを測定する試料は、パンの内相（中心部）から直方体（縦、2.5 cm; 横、2.5 cm; 高さ、1.5 cm）となるように切り出した。切り出したパン片は、卓上型物性測定器（Texture Profile Unit、山電（株）製）に供し、硬さとして最大荷重（N）を測定した。測定条件は以下のとおりである。プランジャー、円筒型（φ4 mm）; 圧縮率、70%; 速度、1 mm/sec; クリアランス、4.5 mm。硬さは1

斤のパン当たり10個のパン片を測定して、平均値を求めた。

(6) ポリフェノールの測定

ポリフェノールの測定は、フォーリン・チオカルト法¹⁴⁾でおこなった。ポリフェノール量は、没食子酸で作成した検量線から、没食子酸相当量で算出した (mg-GAE)。なお、ポリフェノール測定用の試料は以下のように調製した。すなわち、ササゲ豆粉もしくは強力粉に、アセトン:水:酢酸（70:29.5:0.5）の混合液を加え、37℃で5分間超音波処理後、37℃で10分間の静置によりポリフェノールの抽出をおこなった。静置後、遠心分離により上清を得た。残渣には同様な抽出操作を2回繰り返しておこない、回収した上清は25 mLに定容した。

(7) 官能評価用語の収集

官能評価のためのパンの評価用語の収集¹⁵⁾には、ササゲ豆粉の置換割合が無置換（0%）、10%、20%で作製したパンの中心部から切り出した試料片（縦、2.5 cm; 横、2.5 cm; 高さ、1.5 cm）を供した。評価用語の収集のパネリストは本学女子大学生13名とし、味、見た目、食感、香りの4項目を表す語を数の制限なく列挙させた。

3. 結果

(1) パンの色調

写真1にササゲ豆粉で強力粉を置換したパン（以下、ササゲ豆粉パン）およびササゲ豆粉で置換していないパン（以下、ササゲ豆粉無置換パン）の外相と内相を示した。また、表2にはパンの外相および内相の色調を示した。ササゲ豆粉無置換パンの外相の色調は、L*値が52.4、a*値が14.5、b*値が27.2であった。ササゲ豆粉への置換割合が20%および30%のパンにおける外相の色調は、ササゲ豆粉無置換パンと比較して、a*値はほぼ同程度であったが、L*値とb*値は低くなった。なお、ササゲ豆粉パンとササゲ豆粉無置換パンとの外相における色差は、10%置換では2.2、20%置換では15.0、30%置換では18.5であった。

ササゲ豆粉無置換パンの内相の色調は、L*値が72.5、a*値が0.0、b*値が12.6であった。ササゲ豆粉への置換割合が最も高い30%置換パンでは、ササゲ豆粉無置換パンと比較して、L*値およびb*値が低く、a*値が高くなった。なお、ササゲ豆粉パンとササゲ豆粉無置換パンとの内相における色差は、8.8以上であった。

(2) パンの比容積

ササゲ豆粉パンとササゲ豆無置換パンの比容積を図1

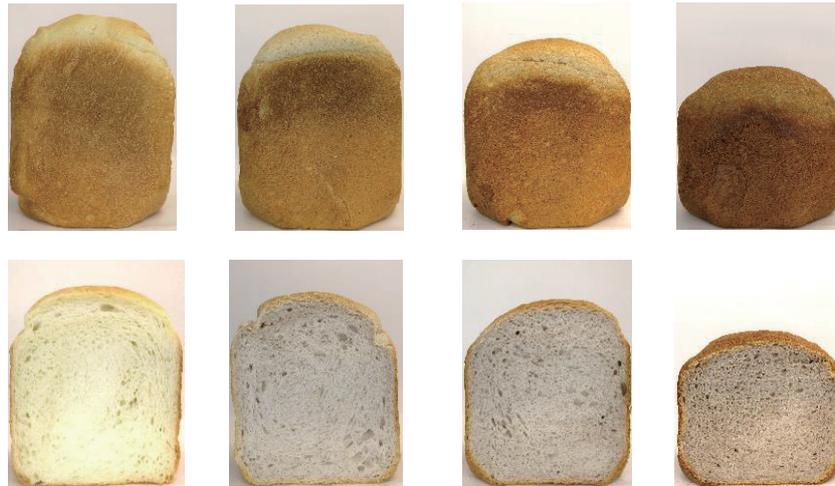


写真1 ササゲ豆粉パンの外相（上）および内相（下）
左からササゲ豆粉置換割合が無置換、10%、20%、30%

表2 ササゲ豆粉パンの色調

ササゲ豆粉置換割合	外相				内相			
	L*値	a*値	b*値	ΔE	L*値	a*値	b*値	ΔE
0%	52.4	14.5	27.2	—	72.5	0.0	12.6	—
10%	50.3	14.9	27.1	2.2	64.9	1.8	8.6	8.8
20%	39.1	14.5	20.5	15.0	57.6	3.3	10.3	15.4
30%	35.8	14.0	19.0	18.5	53.9	4.2	10.8	19.1

L*値:明度, a*値:赤色度, b*値:黄色度, ΔE:色差

に示した。ササゲ豆無置換のパンの比容積は3.8 mL/gであり、先行研究¹⁶⁾における食パンの比容積とほぼ同じであった。ササゲ豆粉パンの比容積は、10%置換では3.6 mL/g、20%置換では3.8 mL/g、30%置換では3.4 mL/gであり、ササゲ豆無置換パンと比べて、同程度もしくは減少した。

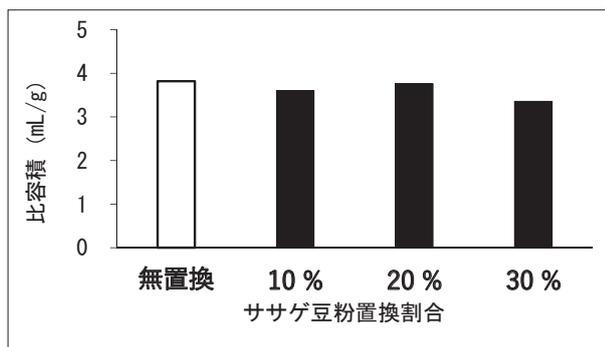


図1 パンの比容積に及ぼすササゲ豆粉の置換割合の影響

(3) パンの硬さ

ササゲ豆粉パンとササゲ豆無置換パンの硬さを図2に示した。ササゲ豆粉無置換のパンでは5.3 Nであったが、強力粉をササゲ豆で置換するとパンは硬くなり、最大荷重は10%置換では1.2倍、20%置換では2.3倍、30%置換では4.5倍に増加した。

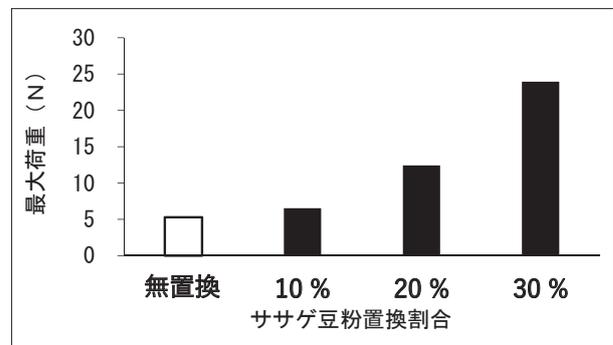


図2 パンの硬さに及ぼすササゲ豆粉の置換割合の影響

(4) 官能評価用語の収集と整理

ササゲ豆粉パンの官能評価用語の収集では、味に関して14語、見た目に関して9語、食感に関して7語、香りに関して10語であった。複数の回答があった用語は、味では「豆の味」「甘い」、見た目では「茶色」「黒色」「つぶつぶ」、食感では「柔らかい」「硬い」「パサパサ」、香りでは「豆」「麦」「穀物」であった。

(5) ポリフェノールの総量

強力粉とササゲ豆粉のポリフェノール量は、それぞれ1.2 mg-GAE/g、9.0 mg-GAE/gであった。パンのポリフェノール総量は図3に示したように、強力粉からササゲ豆粉に置換することにより増加し、10%置換では495 mg-

GAE/斤、20% 置換では690 mg-GAE/斤、30% 置換では885 mg-GAE/斤であった。

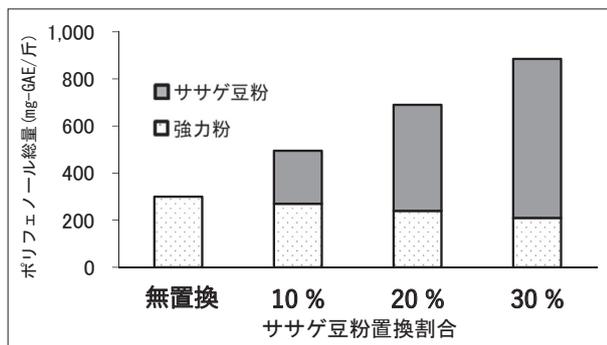


図3 ササゲ豆粉パンのポリフェノール総量

4. 考察

ササゲ豆は日本では小豆の代替として調理されることが多いが、海外ではササゲ豆を粉末状にしたものを小麦粉と混合して、パンや団子などに加工されている⁸⁾。そこで、本研究では強力粉をササゲ豆粉に置換したパンを作製し、一般的な主食であるパンへの利用可能性について検討した。まず、ササゲ豆粉の添加量について検討したところ、ササゲ豆粉による置換割合が30%までは、先行研究における、強力粉で作製されたパンとの比容積に大きな差がなく¹⁶⁾、本研究では強力粉のササゲ豆粉による置換割合が30%まではパン様のものが作製できることを確認した(写真1)。

本研究で製パンした1斤当たりの栄養素量とポリフェノール総量を、パン生地の強力粉とササゲ豆の配合割合(表1)をもとに算出した。なお、パンの栄養素量の算出には、日本食品標準成分表2020年版(八訂)¹⁷⁾における、強力粉(食品番号:01020)およびササゲ豆(食品番号:04017)の値を用いた。また、パンのポリフェノール総量の算出には、強力粉とササゲ豆粉を試料として、フォーリン・チオカルト法で測定した値を用いた。栄養素の中で、葉酸は特に妊娠中の女性で摂取が推奨されており、食物繊維は摂取量不足により生活習慣病の発症率や死亡率が高まることが指摘されているが、妊娠前から始める妊産婦のための食生活指針の摂取推奨量¹⁸⁾や日本人の食事摂取基準2020¹⁹⁾の摂取目標量を下回っている。ササゲ豆(食品番号:04017)のこれら栄養素量は、強力粉(食品番号:01020)と比較して、葉酸では約19倍多く(ササゲ豆、300 μg/100 g; 強力粉、16 μg/100 g)、食物繊維(総量)では約7倍多い(ササゲ豆、18.4 mg/100 g; 強力粉、2.7 mg/100 g)。また、本研究では、ササゲ豆粉のポリフェノールの量が、強力粉より約7.5倍多いことを明らかにした。そのため、10%~30%の範囲

で強力粉をササゲ豆粉に置換したパンの栄養素は、強力粉のみのパンと比べて、葉酸が約2.8~6.3倍、食物繊維が約1.6~3.7倍、ポリフェノール量が約1.7~3.0倍多く摂取できると見積もられた(表3)。

表3 ササゲ豆粉パンの葉酸および食物繊維総量

ササゲ豆粉置換割合	葉酸 ¹⁾ (μg/斤)	食物繊維 ¹⁾ (g/斤)
0%	40	6.8
10%	111	10.7
20%	182	14.6
30%	253	18.5

¹⁾ 日本食品標準成分表2020年版(八訂)の値を用いて算出

また、最も置換割合が高いササゲ豆粉30%置換では、パン1斤から葉酸は一日当たりの摂取推奨量(18歳~64歳女性)¹⁹⁾の約21.1%、食物繊維は一日当たりの摂取目標量(18歳~64歳女性)¹⁹⁾の約20.6%を摂取することでできると試算され、ササゲ豆粉への置換により、葉酸や食物繊維のような栄養素および、アントシアニンやプロアントシアニジンのようなポリフェノールの増強が可能であると判断された。

一方で、嗜好性は、栄養・機能性ととともに、食品の受容性を高める重要な要素である。パンの品質では、色調、比容積、食感、すだち(内相のきめの細かさ)、味および香りが主な指標であり、一般的に高品質のパンは嗜好性も高まる²⁰⁾。そこで本研究では、色調、比容積および硬さを指標に物性を評価し、ササゲ豆粉で置換したパンの特徴について調査した。パンの色調の評価では、強力粉からササゲ豆への置換割合が増加すると、パンの外相は黄色みが減って暗い色に変わり、パンの内相は赤みを帯びた暗い色に変わることが示された。また、ササゲ豆の置換割合が20%以上になると、パンの外相と内相ともに、ササゲ豆粉無置換パンと比較して「別の色系統である」と表現されるほど異なる色調を呈した。一方、官能評価の用語収集からは、見た目では「茶色」「黒色」のような色の明度を表す用語が選定されており、それらは外相および内相の色調と合致していた。また「つぶつぶ」については、目視できるササゲ豆粉の小片が点在していたことから、これらの用語が選出されたと推察された。さらに、パンの見た目を特徴付ける用語である「つぶつぶ」は、本研究では入手が容易でパン試作に必要な量の豆を製粉できる臼式粉砕機を用い、ササゲ豆を粉砕して、250 μm以下に選別したものを試料としたため、ササゲ豆粉の粒径が一般的な強力粉の平均的な粒径(150 μm以下²¹⁾)より大きく、かつササゲ豆の種皮色が強力粉と大きく異なる色を呈していたことに起因すると考えられた。

パンの比容積は大きいほど、パンが良く膨らんでいることを表し、製パン性が良いとされている。本研究の結果、強力粉からササゲ豆粉へ置換することで、パンの比容積は約1.6~12.0%減少することが判明した。一方、パンの硬さは、ササゲ豆粉の置換割合が高くなるに伴い増大し、30%置換パンでは無置換パンと比較して4.5倍にまで増加した。これらのことから、ササゲ豆粉パンの特徴として、膨らみが低下し、硬い食感であることが示された。一般に、パンの品質評価項目である比容積と硬さは、逆相関の関係にあることが知られており、これまでも食物繊維が多い小麦ふすま、大豆たんぱく質を含む大豆粉を強力粉と置換したパンにおいても、同様の結果が得られている^{22) 23)}。比容積の低下については、強力粉をササゲ豆粉へ置換してパンを作製しているため、パン1斤当たりの強力粉の分量が減少、すなわちパン生地中のグルテンの形成量が減少したことが理由の一つとして挙げられた。さらに、大豆粉では、大豆たんぱく質や食物繊維が、グルテンのネットワーク形成を阻害して、パンの膨化を抑制していると考えられており²²⁾、ササゲ豆粉においても含有成分が、比容積の低下を引き起こしていると推察された。さらに、豆類に内在する α -アミラーゼは、パンの生地を弱めべたつかせる作用があり、大豆では炒ることにより酵素を失活させると、生豆粉の場合と比較して、パンの膨らみが良く、柔らかくなることが報告されている²⁴⁾。そのため、ササゲ豆粉に存在する酵素が、パンの膨らみに負の影響を及ぼしていると類推され、ササゲ豆を炒るなど加熱して酵素を失活させることで、ササゲ豆粉パンの比容積が改善する可能性が示唆された。

以上、本研究ではササゲ豆の用途拡大を目的として、臼式粉碎機で粉碎したササゲ豆粉のパンへの適用を検討し、強力粉のササゲ豆粉への置換は、葉酸や食物繊維などの栄養素の強化に加え、アントシアニンやプロアントシアニジンなどのポリフェノールの増強が期待できる一方で、パンの比容積や硬さなど品質が低下することを明示した。そのため、ササゲ豆粉をパンへ利用するためには、膨らみや柔らかさなどのパンの品質を改善する必要がある。その改善方法としては、置換により減少したグルテンの補充だけでなく、ササゲ豆に内在するパンの品質を劣化させる成分の除去や酵素の失活が挙げられ、ササゲ豆粉パンの嗜好性を高めるための課題であると考えられた。

5. 参考文献

1) World cancer research fund, American institute for cancer research, World cancer research fund and American institute

for cancer research, diet, nutrition and the physical activity and cancer: a global perspective, (2018) World cancer research fund international, London

- 2) Hori, Y., Sato, S., Hatai, A.: Antibacterial activity of plant extracts from azuki beans (*Vigna angularis*) in vitro. *phytotherapy research*, **20**(2), 162–164 (2006)
- 3) 厚生労働省：国民健康・栄養調査, https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyou_chousa.html (2022年9月10日)
- 4) 厚生労働省：健康日本21（第一次）, <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001r5gc.html> (2022年9月10日)
- 5) 池上文雄, 加藤光敏, 河野博, 他：からだのための食材大全, pp. 196–197, (2018) NHK 出版, 東京
- 6) Orita, A., Musou–Yahada, A., Shoji, et al.: Comparison of anthocyanins, proanthocyanidin oligomers and antioxidant capacity between cowpea and grain legumes with colored seed coat. *Food Science and Technology Research*, **25**(2), 287–294 (2019)
- 7) WAO, FAOSTAT, <https://www.fao.org/faostat/en/#home>, (2020年6月15日).
- 8) Bharat Singh., Cowpea: The food legume of the 21st century, pp. 123-143, (2020) Crop science society of America, Madison
- 9) 野村総合研究所, 2018年7–8月期シングルソースデータ（関東エリア 20–59歳 :N=2,157）, 朝食は"ごはん派"、"パン派"ついに決着!?, <https://www.is.nri.co.jp/report/short-research/2018/000241.html> (2022年9月14日)
- 10) 長坂慶子, 笹田怜子, 川崎雅志, 他：北上産黒大豆「黒千石」の調理特性に関する研究（第2報）パンへの利用, 岩手県立大学盛岡短期大学部研究論集, **18**, 35–40 (2016)
- 11) 木村万里子：雑豆微粉末を利用した高機能性パンの開発研究. 豆類時報, **90**, 12–17 (2018)
- 12) 日本パン公正取引協議会, 包装食パンの表示ガイド, <https://www.pan-koutorikyo.jp/guide.html> (2022年10月16日)
- 13) 大羽和子, 川端晶子., 調理科学実験, pp 12–13, (2003) 学建書院, 東京
- 14) Orita, A., Musou–Yahada, A., Shoji, et al.: Proximate, anthocyanin and oligomeric proanthocyanidin compositions of cowpeas [*Vigna unguiculata* (L.) walp] cultivated in southwest Japan, *Legume Research*, **43**(3), 359–364 (2020)
- 15) 早川文代：おいしさを評価する用語, 日本調理科学会誌, **41**(2), 148–153 (2008)
- 16) 五島義昭, 渡辺義久, 新宮穂高, 他：国内産小麦の製パン適性について, 日本食品工業学会誌, **33**(2), 102–107 (1986)
- 17) 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2020年版（八訂）, (2020) 蔓友印刷, 東京
- 18) 厚生労働省：妊娠前からはじめる妊産婦のための食生活指針～妊娠前から、健康なからだづくりを～, <https://www.mhlw.go.jp/content/000776926.pdf> (2022年9月14日)
- 19) 厚生労働省：「日本人の食事摂取基準（2020年版）」策

- 定 検 討 会 報 告 書, <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586553.pdf> (2022年9月14日)
- 20) 内田迪夫: パンの品質評価, 調理科学, **22**(2), 102-107 (1989)
- 21) 一般財団法人 製粉振興会: <https://www.seifun.or.jp/pages/79/> (2022年9月11日)
- 22) 館和彦: 小麦ふすま多量添加食パンの品質に及ぼす加水量の影響. 食文化研究, **3**, 9-15 (2016)
- 23) 堀内理恵, 杉原好枝, 福田満: 乾燥オカラ添加が製パン性に及ぼす影響, 日本食生活学会誌, **14**(4), 328-338 (2004)
- 24) 館和彦: 加熱処理大豆粉を添加したパンの品質評価, 岐阜女子大学紀要, **39**, 67-72 (2010)