

ホワイトソルガム粉の製パン性について

土屋 京子・池田 早苗
(平成28年1月14日査読受理日)

A Study of the Baking Quality of White Sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench)

TSUCHIYA, Kyoko IKEDA, Sanae
(Accepted for publication 14 January 2016)

キーワード：ホワイトソルガム，製パン性，グルテンフリー，体積

Keywords: white sorghum, baking quality, gluten-free, volume

緒言

日本はおいしい米の産地に恵まれていることもあり，長きにわたり主食の米は白飯だけでなく様々な調理法が工夫され，食生活は潤いのあるものになっている．主食には米飯の他にパンや麺類などの小麦粉製品も利用されている．しかし，食に関する情報は多く，われわれの健康志向が高くなっていることも影響し，食物繊維の多い雑穀を食べる機会も増えている．元来雑穀とは米・麦以外の穀類¹⁾を言い，粟・黍・稗を始めとする様々な種類の穀物を指す．この雑穀の栽培は紀元前4000年の縄文時代と言われており²⁾，米よりは歴史的には古い．また，雑穀が重要な作物だった時代もあったが，米を重視した日本では雑穀食は米の不足を補うという考え方があり，栽培も少なくなっていた²⁾．雑穀の特徴はビタミン・ミネラル・食物繊維などが多く³⁾ 栄養的に優れていることや，米・小麦由来のアレルギーの代替食品としても使用されることが知られ，近年再び見直されてきた．

これらの雑穀の中から，著者らは先にソルガムに注目し，その調理特性と調理食品への応用について報告した⁴⁾．グレイソルガム（ソルガムきび）は「たかきび」と呼ばれているもので，南アフリカ原産のイネ科の穀物である⁵⁾．アメリカではトウモロコシ，大豆，小麦に続く第4の穀物として注目されており，ソルガムきびの物理化学的性質，抗酸化作用，抗炎症作用について報告されている⁶⁾．日本でも，小麦アレルギーを引き起こす物質を含まず，体の生理機能や健康維持する機能をサポートする成分が含まれていることで注目されており⁷⁾，調理食品についての報告^{8)～11)} や吸水特性についての報告^{12)～13)} がある．また，パンへの利用については，

食物繊維や増粘剤を添加したもの¹⁴⁾，強力粉の一部を置換したもの¹⁵⁾，雑穀を混合したもの¹⁶⁾はあるが，単独で用いたものについては見当たらない．そこで，ホワイトソルガム粉によりパンを調製し，製品の性状，テクスチャーや色度による物理的性質，食味や食感等を総合的に評価し，グルテンを含まない（グルテンフリー）ホワイトソルガム粉の製パン性について検討したので，その結果を報告する．

実験方法

1. 実験材料

ホワイトソルガム粉（以下ソルガム粉）：中野産業株式会社
バター：雪印北海道バター食塩不使用（雪印メグミルク株式会社）

砂糖：上白糖（三井製糖株式会社）

スキムミルク：北海道スキムミルク（雪印メグミルク株式会社）

塩：財団法人塩事業センター

水：南アルプスの天然水（サントリーフーズ株式会社）

ドライイースト：日清スーパーカメリア（日清フーズ株式会社）

2. 試料調製法

家庭用ホームベーカリー（Panasonic SD-BH1000）を使用し，取扱説明書にそって調製した．

試料調製は，まず予備実験において強力粉（日清製粉株式会社）を用いて「食パン」と「早焼き」メニューで作製した．焼成後1時間の試料は柔らかく切断が難しかったため，24時間後の試料を用い，テクスチャー及び色度の測定と，外観及び食味の官能評価を実施した．その結果，機器測定及び官能評価において，「食パン」と「早焼き」の

メニューに顕著な差が見られなかったため、調製時間等も考慮し、約4時間かかる「食パン」ではなく約2時間の「早焼き」によって実施することを決定した。すなわち、パンケースに材料を、イースト容器にドライイーストを入れ、「早焼き」を選びスタートする。（ねり→ねかし→ねり→発酵→ねり→発酵→焼きあげ、2時間）焼成後は取り出し、荒熱を取る。

本実験では強力粉をそのままソルガム粉に置換して作製した。

表1 材料及び分量 (g)

材料	試料1	試料2	試料3
	水 1.0 倍	水 1.5 倍	水 2.0 倍
ソルガム粉	280.0	280.0	280.0
バター	10.0	10.0	10.0
砂糖	17.0	17.0	17.0
スキムミルク	6.0	6.0	6.0
塩	5.0	5.0	5.0
水	200.0	300.0	400.0
ドライイースト	4.2	4.2	4.2
合計	522.2	622.2	722.2

材料及び分量は表1に示すように今回は水量を通常（1.0倍 = 200.0g）、1.5倍、2.0倍の3種類に分けて調製し、焼成後に3種類のものについて比較検討した。

3. 測定項目

- (1) 重量：Scout Pro Sp2001Fjp (OHAUS CORPORATION) ; max 2000g, d0.1g
- (2) 体積：レーザー体積計 Selnac-Win VM2100
- (3) 比容積：V/W（体積を重量で除して求めた）
- (4) 色度：Color and Color Difference Meter（日本電色工業）、反射試料台直径30mm：L*、a*、b*値を求めた。
- (5) テクスチャー：レオロメーター IPC-B4A（アイテクノ）；ロードセル5kg, 12cycle/min, 運動回数2回、プランジャー直径30mm, クリアランス2mm；硬さ、凝集性、弾力性、咀嚼性を求めた。
- (6) 官能評価：嗜好意欲尺度法を用いて食味を、2点嗜好試験法を用いて外観を評価した。

結果および考察

1. 重量・体積・比容積

焼成後1時間後と24時間後の重量及び体積を測定し、比容積を求めた。

ソルガム粉のドウは吸水しにくい⁴⁾ので、ホームベーカリーの取り扱い説明書通りの水量を1.0倍とし、1.5倍、2.0

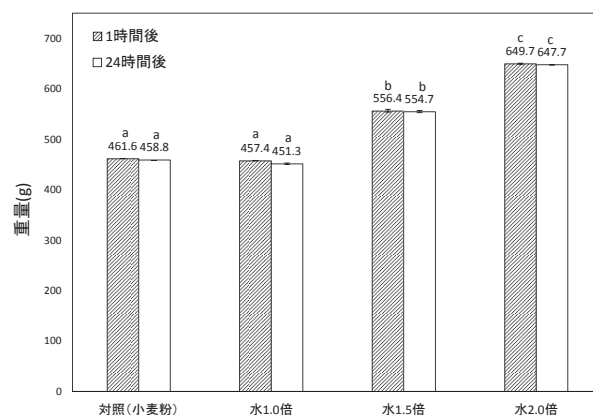


図1 ソルガム粉を用いたパンの焼成後重量
異符号間で有意差有り (p < 0.01) (n=6)

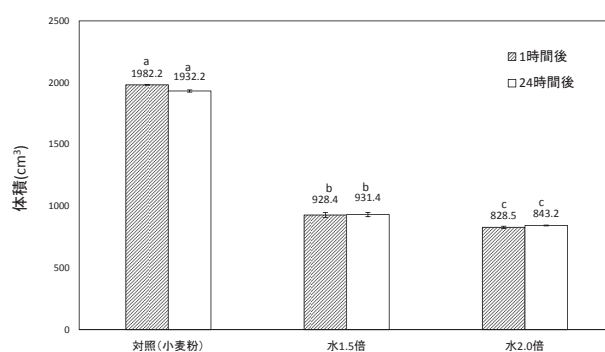


図2 ソルガム粉を用いたパンの焼成後体積（レーザー体積計）
異符号間で有意差有り (p < 0.01) (n=6)

倍の試料を調製した。これは粉に対しては、それぞれ0.7倍、1.1倍、1.4倍である。実際の重量は図1で示す通り、水量の増加に伴い重量は増えている。ここでは示さなかったが、重量変化率でみると水1.0倍の試料は焼成後1時間後が最も高い12.5%、24時間後も13.6%減少したが、水1.5倍と2.0倍の試料は1時間後で10.1～10.6%、24時間後で10.4～10.9%と同程度の減少であった。対照となる予備実験の強力粉（以下小麦粉）でも1時間後は11.7%、24時間後は12.2%であったことから、ソルガム粉使用は焼成後の保存による重量変化には大きな影響を与えないことが示唆された。

体積も重量と同様の時間に測定したが、水1.0倍の試料は焼成直後から製品のまとまりが悪く、体積の測定は不能であったため、水1.5倍と2.0倍の試料の体積を図2に示した。小麦粉における体積より有意に低くなった。ソルガム粉の試料においては、1時間後、24時間後共に、水1.5倍の試料の体積が高いことがわかった。加水量は作業に困難がない程度に最大限にするのが良い¹⁷⁾とされているが、水2.0倍まで入れると多過ぎ、重量の増加だけで体積は減少した。しかし、水1.5倍の試料にはやや粉が残っている部分も観察でき、ドウをこねるのに十分な水量であるとはいえない。したがって水1.5倍以上2.0倍以下の範囲

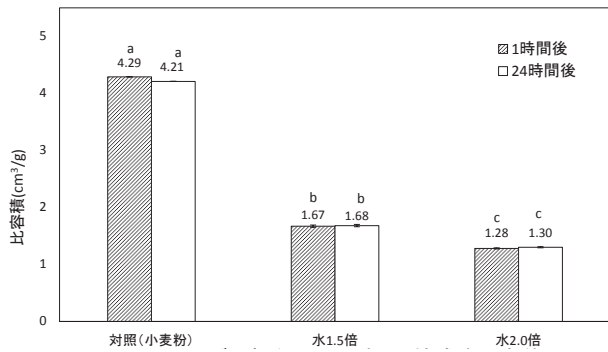


図3 ソルガム粉を用いたパンの焼成後比容積
比容積 (cm³/g) : 体積 / 重量
異符号間で有意差有り (p < 0.01) (n=6)

で再度検証する必要があると考える。24時間後の体積はいずれも増加していたが、水1.5倍の試料の方がその変化率は0.3%で低かったので、焼成後の製品の変化が最も少なく、水2.0倍の試料よりは適正であったと言える。

比容積は気孔率とも言われて多孔質の食品の物性を評価するのに使われ¹⁸⁾、体積を重量で除して求められる。体積が測定できた水1.5倍と2.0倍の試料の比容積を図3に示した。水1.5倍の試料で1.67～1.68、2.0倍の試料で1.28～1.30であった。ホームベーカリーで強力粉による食パンを調製したところ、比容積は4.81～4.99、早焼きにおいても4.21～4.29であったことよりグルテンの有無による差は明らかであった。一般に小麦粉を用いた角型食パンは比容積3.8～4.2、山型食パンは4.0～4.5である¹⁹⁾ことより、食パンの比容積としては小さいことがわかる。パンはイースト発酵により産出された二酸化炭素により膨張するが、それを保持する役割はグルテンにある²⁰⁾。このことから、グルテンフリーのソルガム粉では小麦粉の中でもグルテンの多い強力粉と比べて良い製品が得られなかったことがわかる。膨化調理には炭酸水素ナトリウム（重曹）の利用もあり、生地をねかせてから焼成するものもあるので、参考までにイーストを重曹（粉の3%）に置換して調製したが、比容積で1.23～1.29と効果は得られなかった。

2. 色度

試料の色度は測色色差計で測定し、色の表現をL*・a*・

b*による尺度を用いた。

クラム（内相）は上部と下部、クラスト（表皮）は6面のうち側面の上部と下部、底面を測定し、上面は凹凸がみられたので測定しなかった。試料は2.5cm角に切ったものを使用した。

表2はL*値、a*値、b*値を示したものである。L*値の明度は明るさを表しており²¹⁾、高値になるほど白く明るい色になり、低値はその逆になる。クラムは内部なので白っぽく、明度は両方とも高いが内相の状態により上下の差が表れたと考えられ、水1.5倍の試料の方がきめが細かく均一であった。クラストはいずれも底面の明度は高い傾向であるが、全体的に側面に焼きむらがみられ、特に水1.5倍の試料の方が顕著であった。水2.0倍の試料は底面の明度が高く焼き色が薄かった。

a*値は+側で赤の度合い、-側で緑の度合いを表す²¹⁾もので、クラムはいずれも-の値を示し、白っぽい色は赤よりは緑の度合いが強いことがわかる。クラストは表面なので茶色の焼き色がでて、いずれも赤の度合いが高くなった。水1.5倍の試料では底面と側面下部の値が高く下の方が焼き色が濃いことがわかる。水2.0倍の試料は底面が低値を示していることより、明度同様にあまり焼き色が付いていない薄い色であった。側面は水1.5倍の試料に比べ全体に均等に焼き色が付いていた。

b*値は+側で黄の度合い、-側で青の度合いを表す²¹⁾もので、いずれも+の値を示して黄色の度合いが強いことがわかる。クラムはいずれも上部より下部の方がやや高い傾向を示したが、色の付き方は均等な状態であったと言える。クラストは水1.5倍の試料では側面下部と底面の色が濃く、a*値同様に焼き色が濃くなった。水2.0倍の試料では側面の焼きむらはあまり見られないが、底面が低値であることより色が薄かったことがわかる。

クラムは内部であるため白っぽく、色度の差は測定値で表わされるほど感じないが、クラストは外側の表面なので、焼成の影響が焼き色に顕著に表れやすいと考える。

表3に対照となる小麦粉との色差を示した。いずれも6.0以上の差があり、N.B.S.単位と感覚との関係より、「大いに」あるいは「非常に」差がある²²⁾結果となった。これはソ

表2 ソルガム粉を用いたパンの焼成後24時間の色度

(n = 12)

	対照 (小麦粉)			水 1.5 倍			水 2.0 倍		
	L*値	a*値	b*値	L*値	a*値	b*値	L*値	a*値	b*値
クラム上部	69.4±1.3	-0.4±0.2	12.9±0.4	60.5±2.5	-0.5±0.4	16.0±1.3	63.5±1.5	-0.5±0.1	15.0±0.4
クラム下部	69.7±2.3	-0.6±0.1	14.1±0.4	63.5±0.4	-0.2±0.1	17.1±0.1	59.5±0.1	-0.7±0.6	16.2±0.1
クラスト側面上部	45.9±1.8	16.2±0.1	20.4±0.5	53.3±2.4	3.1±2.6	19.2±1.8	52.5±3.3	4.6±3.4	22.7±2.4
クラスト側面下部	50.8±4.7	15.6±0.6	22.4±1.4	46.0±5.5	13.8±3.2	27.6±0.1	50.3±0.6	3.2±2.7	21.8±1.6
クラスト底面部	56.9±1.9	15.7±1.1	24.9±0.1	52.6±5.9	9.4±2.8	26.7±1.2	59.1±1.4	0.3±0.8	18.1±0.9

表3 ソルガム粉を用いたパンと対照(小麦粉)との色差 (4E)

	水 1.5 倍	水 2.0 倍
クラム上部	9.47	6.33
クラム下部	6.93	10.50
クラスト側面上部	15.09	13.54
クラスト側面下部	7.30	12.33
クラスト底面部	7.68	17.04

ルガム粉自体の色が小麦粉に比べて濃いことが影響していると考えられる。

3. テクスチャー

焼成後 24 時間後の試料について、テクスチャーを測定した。測定試料は、クラム部分を上部と下部に分け、2.5cm 角に切ったものを使用した。

硬さは一定の変形をさせるのに必要な力を表し、食品を作っている内部結合力²³⁾にも関係するものである。図4に硬さを示した。小麦粉に比べ、ソルガム粉を用いた試料は有意に硬くなった。水 1.5 倍の試料では下部の方がやや硬く、水 2.0 倍の試料でもほとんど差はなかった。このことから全体的に硬くて歯ごたえがあり、きめが細かいことがわかる。

凝集性は食品を破碎する時のもろさや硬さにもかかわっている²³⁾ものである。図5に凝集性を示した。小麦粉が下部の凝集性が高いのに対し、ソルガム粉を用いた試料はいずれも上部の方がやや高い傾向になった。試料を切る時も全体的に脆くぼろぼろと崩れやすい状態であったことから、凝集力が高いとは言えない。

弾力性は外力による変形が、力を取り去った時に戻る割合²³⁾を表すものである。図6に弾力性を示した。小麦粉に比べ、ソルガム粉を用いた試料はいずれも有意に弾力性は低い。実際の測定時も、プランジャーで押された時に元に戻る様子から弾力があるとはいえないが、いずれも上部の方が下部よりは弾力性の値は高かった。

咀嚼性は固形食品を飲み込める状態にまで砕くのに必要なエネルギーを表し、硬さや凝集性に関係している²³⁾ものである。図7に咀嚼性を示した。小麦粉とは逆にソルガム粉を用いた試料はいずれも上部の方が下部より高く、特に水 2.0 倍の試料の方が顕著であった。弾力性でも同様の傾向がみられたことより、咀嚼性には食品の弾力が関係することがわかった。

テクスチャーでは製品のクラムを測定しており、クラスト部分を取っているために内相の状態がはっきりと評価されたといえる。

4. 官能評価

焼成後 24 時間後の試料（水 1.5 倍、2.0 倍）について、8 人のパネルにより食味の嗜好性の官能評価を実施した。

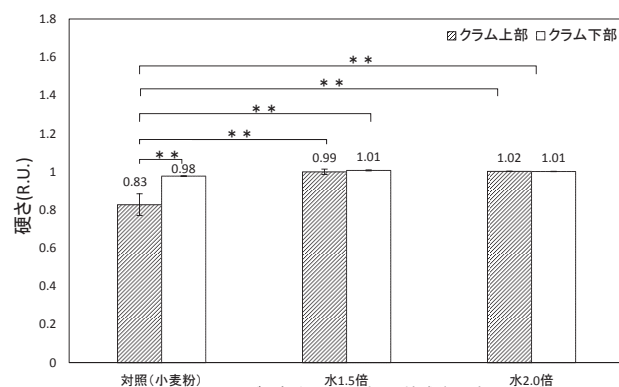


図4 ソルガム粉を用いたパンの焼成後 24 時間の硬さ
レオロメーター (12cycle/min, プランジャー径 30mm, クリアランス 2mm)
** : p < 0.01 (n = 12)

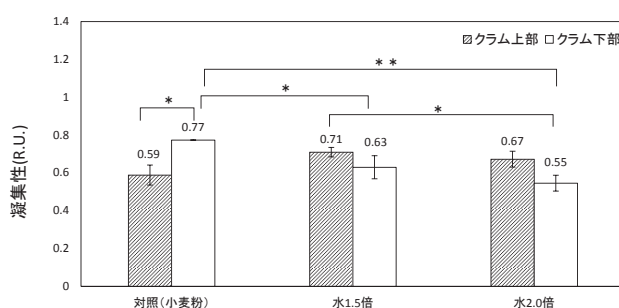


図5 ソルガム粉を用いたパンの焼成後 24 時間の凝集性
レオロメーター (12cycle/min, プランジャー径 30mm, クリアランス 2mm)
** : p < 0.01, * : p < 0.05 (n = 12)

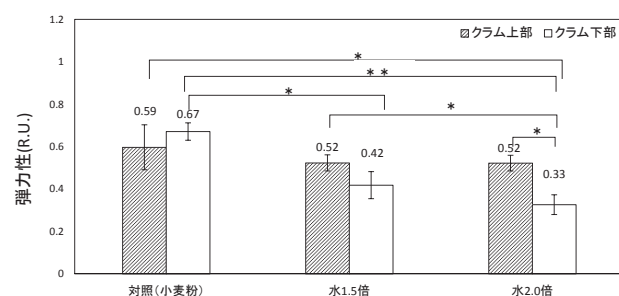


図6 ソルガム粉を用いたパンの焼成後 24 時間の弾力性
レオロメーター (12cycle/min, プランジャー径 30mm, クリアランス 2mm)
** : p < 0.01, * : p < 0.05 (n = 12)

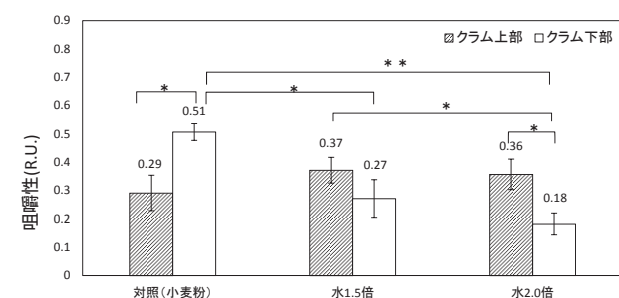


図7 ソルガム粉を用いたパンの焼成後 24 時間の咀嚼性
レオロメーター (12cycle/min, プランジャー径 30mm, クリアランス 2mm)
** : p < 0.01, * : p < 0.05 (n = 12)

表4 嗜好意欲尺度法による食味の官能評価

	水 1.5 倍	水 2.0 倍
他に何も無い時に食べる	8*	8*
	(n = 8)	* : p < 0.01

表5 2点嗜好試験法による外観の官能評価

	水 1.5 倍	水 2.0 倍
外観としての好ましさ	8*	0
	(n = 8)	* : p < 0.01

嗜好意欲尺度法を用い、1～9の9段階の行動意欲を示すカテゴリー²⁴⁾の中から、パネルに相当と思うものを選ばせた。その結果を表4に示した。いずれも全員が「ほかに何も無いときに食べる」を選んだ。自由回答では「水1.5倍の試料は粉の匂いが気になる」「水2.0倍の試料は良く噛めば味がしておいしい」という意見もあったが、相対的には高評価は得られなかった。

また、これとは別に外観を2点嗜好試験法で簡易的に調査した結果を、表5に示した。外観では全員が水1.5倍の試料を選んだ。水1.5倍の試料は前述のように比容積において水2.0倍の試料より高かった。一般的にパンは大きくできている方がふっくらとして美味しいイメージがあるが、見た目と美味しさの評価は必ずしも一致するわけではないので、実際に食すことは製品の評価においては重要な項目であると考ええる。

要約

家庭用ホームベーカリーを用い、強力粉をグルテンフリーであるホワイトソルガム粉にそのまま置換し、加水量を1.0倍、1.5倍、2.0倍の3種類の試料を調製して比較した。

- (1) 重量は加水量により増加したが、焼成後の重量変化率は製品に影響がなかった。体積は水1.5倍の試料の方が高くなった。比容積でも水1.5倍の試料の方が高くなった。
- (2) 色度のL*値ではいずれもクラムは高く、クラストの特に側面下部は低くなった。a*値では、クラムは内相のためいずれも-の値を示した。クラストは焼きむらが見られ、特に水1.5倍の試料の差は顕著であった。b*値では、クラムはいずれも下部の方が黄色の度合いが強かった。クラストはa*値同様に焼きむらが影響した。
- (3) クラムのテクスチャーの硬さでは、全体的にきめが細かいことより硬くなった。凝集性はいずれも上部の方がやや高い傾向であった。弾力性も上部の方が高かった。咀嚼性も上部の方が高かったが、水2.0倍の試料の方が顕著であった。

- (4) 食味の官能評価は嗜好意欲尺度法で実施したが、「他に何も無いときに食べる」で高評価は得られなかった。

製品を改良するために添加物を利用することはあるが、家庭でも手に入る材料で手軽に製パンすることは難しい。小麦粉をそのままホワイトソルガム粉に置換して調製するには改善点がある。今回の実験において、加水量は1.5倍以上2.0倍以下にすることが課題となった。また、食味を向上させるために糖分や油分の添加を検討することも必要であると考ええる。

参考文献

- 1) 新村出 (2008), 広辞苑第6版, 岩波書店, 東京, p.1132
- 2) 江原絢子, 石川尚子編著 (2010), 日本の食文化, アイ・ケイコーポレーション, 東京, pp.48-49
- 3) 実教出版編集部 (2014), 食品成分表, 実教出版, 東京, pp.32-33
- 4) 河野由香里, 土屋京子, 長尾慶子 (2012), ホワイトソルガム粉の調理特性と調理食品への応用適性について, 日本調理科学会誌 **45**, 5, 332-338
- 5) アメリカ穀物協会 (2014), ソルガムきび食用として広がる可能性, 東京, pp.1-4
- 6) アメリカ穀物協会 (2012), 米国産有色グレイソルガムきびに関する最近の研究結果集, 東京, pp.1-14
- 7) Masaya Sugahara et al. (2009), White sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bran extracts suppressed IgE Production by U266 cells. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* **73**, 9, 2043-2047
- 8) 長坂慶子 (2010), ホワイトソルガム粉のスポンジケーキへの利用に関する研究, 岩手県立大学盛岡短期大学研究論集, **12**, 35-40
- 9) 木下枝穂, 久保倉寛子, 津田淑江 (2006), ホワイトソルガム粉の食品への影響と活用, 共立女子短期大学生活科学紀要 (49) 67-71
- 10) 河野由香里, 赤石記子, 長尾慶子 (2012), グルテンフリー食品としてのホワイトソルガム調製ドウおよびバターの評価, 日本調理科学会平成24年度大会研究発表要旨集, p.120
- 11) 寺澤真由, 成瀬友美, 升井洋至 (2013), ホワイトソルガムの調理特性に関する研究, 日本調理科学会平成25年度大会研究発表要旨集, p.52
- 12) 長坂慶子, 藤井恵子 (2012), 雑穀の吸水特性に及ぼす浸漬温度の影響, 日本調理科学会平成24年度大会研究発表要旨集, p.122
- 13) 長坂慶子, 藤井恵子 (2013), 雑穀の吸水特性に及ぼす浸漬温度の影響, 日本調理科学会平成25年度大会研究発表要旨集, p.192

- 14) 丸井麻子, 肥田由紀子, 但馬知世子, 藤井恵子 (2008), ホワイトソルガムを用いたパンの製パン性に関する研究, 日本調理科学会平成 20 年度大会研究発表要旨集, p.60
- 15) 渡邊真由, 神澤美奈子, 升井洋至 (2010), ホワイトソルガムの調理特性について, 日本調理科学会平成 22 年度大会研究発表要旨集, p.55
- 16) 石井和美, 斉藤麻里, 高橋敦子, 藤井恵子 (2011), 雑穀粉を混合して調製したパンの製パン性に関する研究, 日本家政学会平成 23 年度大会研究発表要旨集, p.132
- 17) 田中康夫, 松本博 (1999), 製パンプロセスの科学, 株式会社光琳, 東京, p.235
- 18) 川端晶子 (1996), 食品物性学, 株式会社建帛社, 東京, pp.211-215
- 19) 田中康夫, 松本博 (1999), 製パンプロセスの科学, 株式会社光琳, 東京, pp.4-5
- 20) 吉野精一 (2012), パン作りの科学, 株式会社誠文堂新光社, 東京, pp.150-153
- 21) 川端晶子, 大羽和子 (1991), 調理科学実験, 株式会社学建書院, 東京, p.90
- 22) 島田保子, 川端晶子, 亀城和子, 村山篤子 (1989), 最新調理学実験, 株式会社学建書院, 東京, pp.52-53
- 23) 川端晶子 (1996), 食品物性学, 株式会社建帛社, 東京, pp.99-100
- 24) 畑江敬子, 香西みどり (2003), 調理学, 株式会社東京化学同人, 東京, p.38