

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K02362

研究課題名(和文) 三大アレルゲンを含まないソルガムきび粉の製パン方法の確立と機能性成分の挙動

研究課題名(英文) Preparation of sorghum bread without three major allergens and behavior of functional ingredients

研究代表者

高崎 禎子 (Takasaki, Sadako)

信州大学・学術研究院教育学系・教授

研究者番号：50171434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ソルガムきび(ミニソルゴーおよびTDNソルゴーの二品種)を用いて健康の保持増進につながる三大アレルゲンを含まないパンの製造条件の検討および機能性成分の挙動の解明を目的とした。ソルガムきび粉の粒子径分布、糊化特性、レジスタントスターチ量および抗酸化性等の基礎特性について明らかにした。製パン材料として、粉の一部を馬鈴薯加工でんぷんとタピオカ加工でんぷんで置換すると比容積が大きくなり、パン内相のテクスチャーも改善した。ソルガムきび粉に含まれていたレジスタントスターチは、焼成後のパンではほとんど消失したが、抗酸化性は焼成後のパンにおいてやや低下したものの顕著な減少はみられなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小麦や卵を用いずソルガムきび粉パンを製造する条件を見出すことは、小麦アレルギーやグルテンにより疾病を引き起こす患者のみならず、人口増加に応じた主食の確保および人々の嗜好性を満たす上から重要な課題である。グルテンを含んでいないソルガムきび粉のみで製パンを行うことは難しい。本研究では、増粘多糖類や加工でん粉を用いることで製パン性の向上を目指すとともに、焼成後のパンに含まれる機能性成分の挙動についても明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We investigated the conditions for preparing sorghum bread that can be used on a daily to maintain and improve health without the three major allergens, and to examine the behavior of functional ingredients using sorghum ("Minisolgo" and "TDN sorghum"). Basic properties of sorghum flour such as particle size distribution, gelatinization properties, resistant starch contents and antioxidant properties were clarified. When part of the sorghum flour was replaced with potato modified starch and tapioca modified starch, the specific volume increased and the textures of the bread crumbs improved. The amount of resistant starch almost disappeared after baking, but the anti-oxidation property decreased slightly after baking, but no significant decrease was observed.

研究分野：調理科学

キーワード：ソルガムきび粉 製パン 糊化特性 レジスタントスターチ 抗酸化性 DPPHラジカル捕捉活性 パンクラムのテクスチャー

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在の日本人の食生活において食物繊維や無機質の摂取が不足している。ソルガムきびは、小麦、大麦、アワ等と比較し、100gあたりの熱量や成分に顕著な差はみられないが、他の穀類に比べ消化性が低く、一方、ビタミン、無機質、ポリフェノール類をはじめ、健康機能を有する成分を多く含んでいることが報告されている¹⁾。また、小麦アレルギーや小麦特有の成分であるグルテンによって引き起こされる疾病患者数が増加しており、小麦代替食品が求められている。ソルガムきび粉の特徴や、製パン条件を検討した報告²⁾はあるが、グルテンを含んでいないソルガムきび粉のみで製パンを行うことは難しく、膨化を良くするために卵を使用している場合³⁾もある。さらに、パンとして食する観点からは、調理加工過程中的食品成分の挙動を確認することは重要であるが、その点に言及している報告はほとんどない。

小麦や卵を用いずソルガムきび粉パンを製造する条件を見出すことは、小麦アレルギーやグルテンにより疾病を引き起こす患者のみならず、人口増加に応じた主食の確保および人々の嗜好性を満たす上から重要な課題であるので、本研究を計画した。

2. 研究の目的

本研究では、ソルガムきび粉を用いて、三大アレルギー(卵、牛乳・乳製品、小麦)を使用せずに健康の保持増進につながる日常的に利用できるパンを製造するための条件を追究し、焼成されたパンに含まれる機能性成分の挙動を調べることを目的とした。まず、ソルガムきび粉の基礎特性を明らかにし、次に、グルテンの代替となる増粘多糖類や加工でんぷんを添加しソルガムきび粉パンの調製条件を検討する。製パン条件を決定し、焼成後の機能性成分の挙動を明らかにすることとした。

3. 研究の方法

(1)材料

ソルガムきびは、長野県長野市七二会地区で2020年、2021年に生産されたミニソルゴおよびTDNソルゴを用い、製パンの際には、製粉したものを使用した。パンの原材料として、上白糖(三井製糖株式会社)、食塩(天日塩、株式会社 青い海)、ドライイースト(共立食品株式会社)、オリーブオイル(株式会社 J-オイルミルズ)、ヒドロキシプロピルメチルセルロース(HPMC)(メトロース SFE-4000,信越化学工業株式会社)、馬鈴薯加工でんぷん(ミクロリス FH02,王子コーンスターチ株式会社)とタピオカ加工でんぷん(みやこ500,王子コーンスターチ株式会社)を使用した。馬鈴薯加工でんぷんは、化しているために焼成前の生地への膨化に寄与し、また、食感改善に効果がある。タピオカ加工でんぷんは、生地の状態では膨化に寄与しないが、小麦粉の物性に近く焼成後には、釜落ちを抑制する効果がある。

(2)基礎特性の測定

粒子径分布は、レーザー回折・散乱法による装置(MT3300型, Microtrac社)を用いて乾式モードで測定した。

ソルガムきび粉に含まれるでんぷんの分子構造をゲルろ過法クロマトグラフィー法により測定した。試料0.2gにDMSOを加え攪拌し、NaOHで糊化後、pH 3.5に調整し、イソアミラーゼを加え、Toyopearl HW55SおよびHW50Sに試料をチャージし1.0 ml/minの溶離液(0.05 N NaOH, 0.2 % NaOH)で溶出し、RI デテクターで検出した。分析は、株式会社スターテックに依頼した。

糊化特性は、示差走査熱量計(DSC600,日立ハイテクサイエンス製)を用いて測定した。試料容器(アルミニウム製簡易密封容器,容量45 μl)に粉体試料約20 mgを計り取り、製パン時の加水量を想定して重量比60,100,120%の水分を加え、容器を密封後、室温で20時間以上放置し、測定を行った。測定温度は、0から120°C,2°C/分で雰囲気ガスに窒素(流量:30 ml/min)を用いて行った。分析は、セイコーフューチャークリエーション株式会社に依頼した。

(3)製パン方法およびパン生地中のガス発生量の測定

ソルガムきび粉パンの調製は、粉100gに対して、砂糖10g,塩2g,ドライイースト1g,オリーブオイル4g,水(40°C)90~110gを用いた。また、ヒドロキシプロピルメチルセルロース(HPMC)を1.0%添加した。ミキサーボールに材料を入れ、レディースミキサー(KN-200,大正電機)で、低速(375 rpm)で15分間混ねつけた。混ねつ後の生地を粉100g相当分に分割し、パン型に入れ、38°Cのほいろ(PF 110, KNEADER)で60分間発酵した。同時にパン生地発酵中のガス発生量をガス発生量自動計測装置ファーモグラフ (AF-1101-10W アトー(株))で測定した。発酵後、200°Cのオープン (ERO-J5100(W), 株式会社東芝)で20分間焙焼した。

(4)パンの品質評価

焼成後、20 前後の室温で3時間放冷したパンの体積を菜種法で測定し、比容積を算出した。

パン内相の中央部をパン用ナイフで 22 mm×22 mm×22 mm に切り出し、クリーブメータ (RE-3305S, 株式会社山電) により、プランジャーNo.3 (直径 16 mm, 円柱型), 測定速度 1 mm/sec, 測定ひずみ率 60% でかたさ応力, 凝集性等のテクスチャー特性値を解析した。

(5)機能性成分の測定

ソルガムきび粉および調製したパンに含まれるレジスタントスターチ量, 総ポリフェノール量, DPPH ラジカル捕捉活性を測定した。レジスタントスターチ量の測定は Resistant Starch Assay Kit (K-RSTAR; Megazyme) を用いて行った。分析は, 株式会社スターチテックに依頼した。総ポリフェノール量は, フォーリン-デニス法を用いて測定し, クロロゲン酸量で示した。DPPH ラジカル捕捉活性は, DPPH 比色法を用いて測定し, Trolox 当量で示した。

4. 研究成果

(1)ソルガムきび粉の基礎特性

今回用いたソルガムきび粉の一般成分は, 100 g あたり, ミニソルゴーでは, 水分 10.3 g, たんぱく質 8.6 g, 脂質 3.3 g, 灰分 1.4 g, 炭水化物 76.4 g であり, TDN ソルゴーでは, 水分 11.3 g, たんぱく質 8.9 g, 脂質 3.9 g, 灰分 1.4 g, 炭水化物 74.6 g であった。

粉の粒子径分布を図 1 に示した。粒子径は, 強力粉は, 50~136 μm に 80% 程度が分布していた。ミニソルゴー, TDN ソルゴーともに強力粉に比べ平均粒子径は大きかった。ミニソルゴーでは, 30 から 176 μm に 80% 程度が分布していた。TDN ソルゴーは, 30 から 250 μm に分布しており, 125 μm に最多粒径のピークがみられた。ソルガムきび粉の粒子径の大きさは, 製パン性に影響を及ぼす可能性がある。

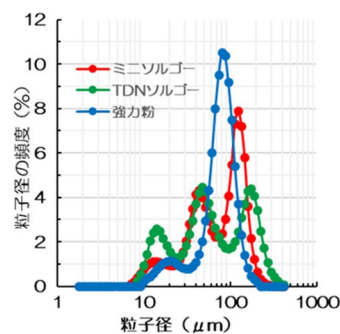


図 1 粉の粒子径分布

ソルガムきびに含まれるでんぷんをゲルろ過クロマトグラフィー法により分析した結果を表 1 に示した。見かけのアミロース含量はミニソルゴー, TDN ソルゴーともに 30% 前後であり, 一般的に知られている小麦粉のアミロース含量 (20~30%) と同様の値であった。アミロペクチンの長鎖に対する短鎖の割合は, ミニソルゴーの方が, やや低い傾向にあり, ミニソルゴーより TDN ソルゴーの方が短鎖のものが多くと推定できる。また, Fr.1 と Fr.2 の境目の谷の値は, TDN ソルゴーよりミニソルゴーの方が高く, ミニソルゴーの方がアミロペクチンの超長鎖が多く含まれる可能性がある。

表 1 ソルガムきび粉に含まれるでんぷんの分子構造

でんぷんの分子構造	Fr.1 (アミロース)	Fr.2 (アミロペクチン長鎖)	Fr.3 (アミロペクチン短鎖)	Fr.3/Fr.2
ミニソルゴー	29.3±0.6a	19.9±0.6b	50.8±0.7	2.6±0.1
TDN ソルゴー	30.9±0.1b	17.5±1.0a	51.6±1.1	3.0±0.2

アルファベット異なる場合は, ソルガムきび粉の品種間で有意差あり (p<0.05, n=3)

ミニソルゴーおよび TDN ソルゴーの示差走査熱量計により糊化特性を調べた結果を表 2 に示した。糊化特性に大きな差異はなかったが, 二品種ともに小麦粉に比べ, 糊化開始温度, 糊化ピーク温度, 糊化終了温度は 5~10 ほど高かった。それらの値は, 水分率による顕著な変動は認められなかったが, 水分率が大きくなると, 熱量は小さくなる傾向にあり, 糊化終了温度は低くなる傾向であった。水分 100% の条件下での糊化特性を測定した試料を 1 週間室温で保存した後の糊化特性を調べた結果を表 3 に示した。熱量の変化から 1 週間後の老化率 (1 週間後の熱量/初日の熱量×100) を算出すると, ミニソルゴーは 15.3% で小麦粉 17.5% とほぼ同程度であったが, TDN ソルゴーは 23.6% と値が大きくなっていった。

表 2 示差走査熱量計で測定したソルガムきび粉の糊化特性

糊化特性	水分率 (%)	熱量変化 (mJ/mg)	糊化開始温度 (°C)	吸熱ピーク温度 (°C)	吸熱ピーク温度 (°C)	吸熱ピーク温度 (°C)	糊化終了温度 (°C)
ミニソルゴー	60	13.3	62.3	72.2	87.7	106.5	114.2
	100	15.2	58.7	72.5	-	102.9	108.8
	120	10.5	61.9	73.6	-	101.6	108.1
TDN ソルゴー	60	15.4	64.1	71.6	86.1	108.4	116.0
	100	11.6	63.4	70.6	-	103.3	109.4
	120	11.1	63.7	70.7	-	101.8	108.1
強力粉	100	8.51	53.3	63.0	-	96.9	105.8

表 3 示差走査熱量計で測定したソルガムきび粉の糊化特性 (一週間後)

糊化特性	水分率 (%)	熱量変化 (mJ/mg)	糊化開始温度 (°C)	吸熱ピーク温度 (°C)	吸熱ピーク温度 (°C)	糊化終了温度 (°C)
ミニソルゴー	100	2.3	44.1	59.0	-	70.1
TDN ソルゴー	100	2.7	46.0	58.9	91.4	107.5
強力粉	100	1.5	46.2	56.9	-	67.0

(2)ソルガムきび粉パンの製パン性およびパン内相のテクスチャー特性

ミニソルゴーを用いて置換する加工でんぷんの量および水分量を変化させ、製パン条件を検討した結果を表4に示した。その結果、加工でんぷん量を増加させると焼成前のガス発生量に影響を及ぼさないものの、焼成時にパンの上部がへこみ、ケービングが起こり、パンとして好ましいものではなくなった。

表4 加工でんぷん置換割合の状況による製パン性(ミニソルゴー使用)

ソルガムきび粉 (%)	100	90	90	80	80	70	70	60
馬鈴薯加工でんぷん (%)	0	1	1	2	2	3	3	6.8
タピオカ加工でんぷん (%)	0	9	9	18	18	27	27	33.2
粉に対する水 (%)	90	90	85	90	85	90	85	80
ケービング	-	-	-	+	+	++	++	+++
比容積	2.1	3.3	2.5	-	-	-	-	-

今回試行した条件の中では、ソルガムきび粉の10%を加工でんぷん(馬鈴薯加工でんぷん1:タピオカ加工でんぷん9)に置換し、製パンを行ったものが、ケービングも起こりにくく、比容積の向上が見られた。パンの外観を図2に示した。その条件でのパン内相のテクスチャー特性を表5に示した。ミニソルゴー、TDNソルゴーともに加工でんぷん10%置換により、パンの内相の硬さは約50~60%程度になり、柔らかくなったことが示された。パン内相の回復力を示す凝集性は約1.8~1.9倍に増加し、小麦粉パンのそれに近くなり、良好な食感となった。

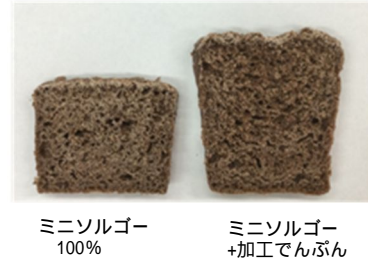


図2 パンの外観

表5 パン内相のテクスチャー特性

テクスチャー特性	ミニソルゴー 100%	ミニソルゴー +加工でんぷん	TDNソルゴー 100%	TDNソルゴー +加工でんぷん
かたさ応力 (10 ³ N/m ²)	27.97 ± 5.33c	13.66 ± 2.06a	20.68 ± 4.01b	13.19 ± 1.34a
凝集性	0.14 ± 0.03a	0.27 ± 0.02b	0.12 ± 0.04a	0.22 ± 0.03b

アルファベットの異なる場合は、パン間で有意差あり (p<0.05, n=8)

(3)機能性成分の挙動

パンの状態およびパンを製造する際に使用した粉に含まれる機能性成分について調べた結果を表6に示した。レジスタントスターチの値は、焼成前のTDNソルゴーにはほとんど含まれないのに対してミニソルゴーのでんぷん総量あたりのレジスタントスターチ値は、57.8 ± 4.6%であり、材料由来に換算すると32.3 ± 2.6%であったが、焼成後のパンでは、大部分が消化性のでんぷんに変化し、ほとんど残存しなかった。加工でんぷんの一部置換は、レジスタントスターチの残存量に影響を及ぼさなかった。DPPHラジカル捕捉活性の値は、焼成前のミニソルゴーでは、TDNソルゴーよりも高く、2.5倍の値を示し、焼成後には、やや低下するものの加熱による顕著な減少はみられなかった。クロロゲン酸量は、焼成によりミニソルゴーでは、粉の時よりも10%程度減少し、TDNソルゴーでは30%程度減少していた。

表6 機能性成分の変化

機能性成分		ミニソルゴー 100%	ミニソルゴー +加工でんぷん	TDNソルゴー 100%	TDNソルゴー +加工でんぷん
レジスタントスターチ (%)	パン	1.09 ± 0.04c	0.99 ± 0.03c	0.24 ± 0.01a	0.45 ± 0.09b
	材料由来	32.31 ± 2.60b	31.77 ± 2.53b	0.02 ± 0.01a	1.61 ± 0.16a
DPPHラジカル捕捉活性 (μmol Trolox eq./100g)	パン	253.8 ± 3.9c	258.8 ± 4.7c	104.9 ± 10.9b	86.4 ± 14.2a
	材料由来	297.3 ± 25.5b	276.9 ± 23.8b	136.8 ± 22.2a	120.4 ± 19.5a
クロロゲン酸量 (mgクロロゲン酸 eq./100g)	パン	74.4 ± 1.2b	74.7 ± 1.4b	44.6 ± 2.1a	41.1 ± 1.4a
	材料由来	82.5 ± 2.6c	76.9 ± 2.3c	64.6 ± 3.1b	56.8 ± 2.7a

アルファベットの異なる場合は、パン間で有意差あり (p<0.05, n=3)

(4)まとめ

ソルガムきび(ミニソルゴーおよびTDNソルゴーの二品種)を用いて健康の保持増進につながる三大アレルゲンを含まないパンの製造条件の検討および機能性成分の挙動の解明を目的とした。ソルガムきび粉の粒子径分布、糊化特性、レジスタントスターチ量および抗酸化性等の基礎特性について明らかにした。製パン材料として、粉の一部を馬鈴薯加工でんぷんとタピオカ加工でんぷんで置換すると比容積が大きくなり、パンクラムのテクスチャーも改善した。ソルガムきび粉に含まれていたレジスタントスターチ量は、焼成によりほとんど消失したが、抗酸化性は焼成後やや低下したものの顕著な減少はみられなかった。

今回、ソルガムきび粉の10%を加工でんぷん(馬鈴薯加工でんぷん1:タピオカ加工でんぷん

9)に置換した場合に製パン性が改善されることが明らかになったが、検討した条件は限られていたので、今後は、加工でんぷんの種類や使用量についてさらに検討が必要である。

<引用文献>

- 1) Leandro de Moraes Cardoso, Soraia Silva Pinheiro, Hércia Stampini Duarte Martino, Helena Maria Pinheiro-Sant'Ana, Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **57**(2), 372-390 (2017)
- 2) 高崎 禎子, 有色ソルガムきび粉の基礎特性と製パンへの応用適性, 飯島藤十郎記念食品科学振興財団 2019 年度年報, **35**, 485-489 (2020)
- 3) Magali Bize, Brennan M. Smith, Fadi M. Aramouni, Scott R. Bean, The Effects of Egg and Diacetyl Tartaric Acid Esters of Monoglycerides Addition on Storage Stability, Texture, and Sensory Properties of Gluten-Free Sorghum Bread, *Journal of Food Science*. **82**, 194-201 (2017)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高崎禎子
2. 発表標題 信州産ソルガムきび粉の基礎特性と製パン条件の検討
3. 学会等名 日本調理科学会2021年度大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------