

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：32670

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K02350

研究課題名（和文）アレルギー対応非常食の社会実装のための分子論的基盤とそれを応用した食品の開発

研究課題名（英文）Molecular basis of emergency food for allergic persons and its application to development of allergen-free food for the purpose of social implementation.

研究代表者

藤井 恵子 (FUJII, Keiko)

日本女子大学・家政学部・教授

研究者番号：20186480

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）：本研究では、食物アレルギー対応食品の材料としてキヌア、アマランサスを選び、副材料として豆乳、大豆粉を添加して栄養学上合理的に設計された含泡食品を創製した。それを乾燥させラスクにすることにより水分活性の低い、災害時の非常食になりうる食品を開発した。加えて、その製造方法を確立し、物性を明らかにした。アマランサス粉とキヌア粉を用いたグルテンフリーラスクは、キヌア粉の割合が高い試料では比容積が大きく、細孔が均質に分布し、密な内部構造を有した試料となった。さらに、キヌア粉と大豆粉を混合しラスクを調製したところ、キヌア粉単独ラスクは最も軟らかく、サクサクした食感であると評価された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、食物アレルギー対応非常食の試料として雑穀を選び、さらに大豆タンパク質と複合化させることにより、機能性食品素材、健康志向型食品としての新たな食品を創製することができ、被災地における非常食としての実用化の可能性が示された。主要アレルギー原因食物（鶏卵、牛乳、小麦）を含まず、水分活性を下げ保存がきくため、これらの食品の調製方法と物性、食味特性が明らかになったことで、食物アレルギーに悩む人々に幅広く利用してもらえることが期待され、食の多様化、生活の質の向上、さらに被災時の生活の質の向上にも貢献しうることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, quinoa and amaranth were selected as ingredients for allergen-free food, and soy milk and soy flour were added as secondary ingredients to create a nutritionally rational foam-containing food. By making them into rusks, we developed emergency food in times of disaster with low water activity. In addition, the manufacturing method was established, and the physical properties were clarified. Gluten-free rusks made with amaranth and quinoa flours had a large specific volume, homogeneously distributed pores, and a dense internal structure when the percentage of quinoa flour was high. Furthermore, when rusks were prepared by mixing quinoa flour and soybean flour, the rusks with quinoa flour alone were evaluated to have the softest and crispiest texture.

研究分野：調理科学

キーワード：雑穀 キヌア アマランサス 大豆粉 ラスク 非常食 アレルギー対応食品 物性

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我が国は少子高齢化社会となり、医療や福祉の質を維持しつつ国民の負担を減らすことが喫緊の課題であり、なかでも食物アレルギーに関しては、その患者数が増加の一途を辿っているため、食物アレルギー対策の普及が極めて重要となっている。その一方で頻発する自然災害への備えが叫ばれ、被災生活においても役立つアレルギー対応食品が切望されている。そこで、主要アレルギー原因物質（鶏卵、牛乳、小麦）を含まない栄養学上合理的に設計された含泡食品を創製し、それを乾燥させ水分活性を下げることにより保存性が高くなるため¹⁾、食物アレルギーに悩む人々の非常食としての利用が可能であると考えた。

2. 研究の目的

数種類の雑穀を粉末化させた後に混合し、大豆タンパク質などと複合化させ、雑穀/タンパク質複合化効果について解析する。雑穀粉を主成分とした、主要アレルギー原因食物を含まない栄養バランスの優れたセル構造食品を創製し、さらに乾燥させ水分活性を下げ、保存性を評価し、非常食としての応用可能性と受諾性についても検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 試料の調製方法

①アマランサス粉とキヌア粉、豆乳を用いたグルテンフリーラスクの調製方法

材料として、アマランサス粉、キヌア粉、無調整豆乳、グラニュー糖、ベーキングパウダーを用いた。豆乳を攪拌し泡沫を調製し、雑穀粉およびベーキングパウダーと混合した。200℃のオーブンで30分間焼成し、25℃で24時間保管後、5mmの厚みに切り出し、120℃で30分間乾燥した。破断特性の試料は40mm×15mmとした。雑穀粉はアマランサス粉とキヌア粉の配合割合を100:0、75:25、50:50、25:75、0:100の5段階に調製した。

②キヌア粉と大豆粉を用いたグルテンフリーラスクの調製方法

材料として、キヌア粉、大豆粉、グラニュー糖、インスタントドライイーストを用いた。35℃の発酵機で30分間発酵し、200℃のオーブンで30分間焼成して含泡食品を調製した。25℃に保冷後、-20℃の冷凍庫で一晩冷凍し、冷凍後の含泡食品を4mmの厚みに電動スライサー(電動スライサーE16, ritter社)で切り出し、60mm×15mmに大きさをそろえた。試料の大きさは曲げ試験を実施するために規格番号 JIS K7017 を参考に決定した。120℃に予熱した定温乾燥器(Yamato DX302)で30分間乾燥し、試料を調製した。試料は保存温度10℃、25℃、40℃とし、1、7、14、28日間保存した。

(2) 測定方法

①比容積

菜種法により測定したラスクのみかけの体積(cm³)を、ラスクの重量(g)で除し、比容積を算出した²⁾。

②きめの評価

焼成したラスクをスキャナーでスキャンし、画像ソフトを用いてラスクの中央部(縦15mm×横40mm)のきめの評価を行った。得られた結果から細孔数、細孔面積の最小値、最大値、平均値を算出した。

③水分含量

焼成・放冷後のラスクの水分含量について、常圧加熱乾燥法を用いて測定を行った³⁾。恒量ビンに試料を入れ、130℃の乾燥器で加熱し、重量変化が0.3%以下となったときの重量を恒量とし、水分含量を算出した。

④水分活性

試料1.5gをポータブル水分活性計(Lab Master-aw:DKSKジャパン株式会社)を用いて25℃で測定した。

⑤破断特性

クランプメーター(RE2-33005B, 株式会社山電)を用いて、破断特性の測定を行った。測定条件は、プランジャー直径5mm円柱形、圧縮速度0.1mm/sec、圧縮ひずみ0.99とした。得られた応力-ひずみ曲線から、破断ひずみ、破断応力、破断エネルギー、最大応力、みかけの弾性率を算出した。サクサク感の指標として、負の応力微分値を破断回数で除したクリस्पネスエネルギーを算出した^{4,5)}。

⑥曲げ特性

クランプメーター(RE2-33005B, 株式会社山電)を用いて、曲げ特性を測定した⁶⁾。測定条件は、くさび形プランジャーを用い、圧縮速度0.05mm/sec、圧縮ひずみ1.65、支点間距離40mmとした。得られた応力-ひずみ曲線より曲げ弾性率、曲げひずみ、曲げ応力を算出した。

⑦官能評価

雑穀粉の配合割合を変えた 5 種類のアマランサス粉、キヌア粉混合ラスク (A100、A75Q25、A50Q50、A25Q75、Q100) の官能評価を実施した。方法はシェッフエの対比較法の変法 (中屋の変法)⁷⁾ を用いた。パネルは本学食化学科学生 20 名とした。また、焼成条件を変えたキヌア粉、大豆粉混合ラスクについては 11 段階採点法の絶対評価で官能評価を行った^{8,9)}。

4. 研究成果

(1) アマランサス粉とキヌア粉を用いたグルテンフリーラスクの物性

① 比容積・きめの評価

配合割合の異なる雑穀粉パンの比容積を Fig.1 に示す。パンの比容積は A25Q75 が最大となり、キヌア粉の配合割合が高くなるほどパンの比容積は大きくなった。雑穀粉の配合割合の違いが比容積に及ぼす影響は、各雑穀粉の粉体特性の影響が大きいと考えられた。アマランサス粉とキヌア粉では、アマランサス粉の方が平均粒径、澱粉損傷度が大きく、一方、アミロース含量は小さく、澱粉損傷度の大きい粉を用いると吸水性が高く、発酵時や焼成時にイーストやベーキングパウダーから発生した炭酸ガスの気泡膜膨張が抑制され、パンのクラム部分が団子状となり潰れて、その結果澱粉損傷度の大きいアマランサスのパンの膨らみが悪くなったと考えられた。

配合割合の異なる雑穀粉ラスクの断面写真を Fig.2 に、雑穀粉ラスクの細孔数及び細孔の平均面積を Fig. 3 に示す。キヌア粉の配合割合の増加に伴い細孔数は増加し、細孔の平均面積は低値を示した。キヌアラスクはきめが細かく、密な構造となり、均質なものとなった。一方、アマランサスラスクはパンの特性を反映し、不均質できめが粗くなった。

② 破断特性

キヌア粉の配合割合が高くなると破断応力が大きくなり、硬いラスクになったことが示された。破断ひずみについても同様の傾向が認められた。一方、アマランサス主体の試料は、破断応力は小さく、負の応力微分値は小さく破断回数は大きくなった。結果として、クリस्पネスインデックスは低値となり、これがサクサクとした食感につながるのではないかと考えられた¹⁰⁾ (Fig. 4)。

③ 官能評価

雑穀粉ラスクの官能評価の結果を Fig. 5 に示す。分析型試験の結果、香ばしさににおいてはアマランサスの配合割合の高い試料が有意に香ばしいと評価された。ラスクの硬さはキヌア粉を 50% 以上配合した試料は、アマランサス主体の試料と比較して有意に硬いと評価された。アマランサス粉主体の試料はサクサクしていると評価されたが、苦みも強いと評価された。嗜好型試験においては、アマランサス主体の試料は、食感が好ましく、総合的に好ましいと評価された。

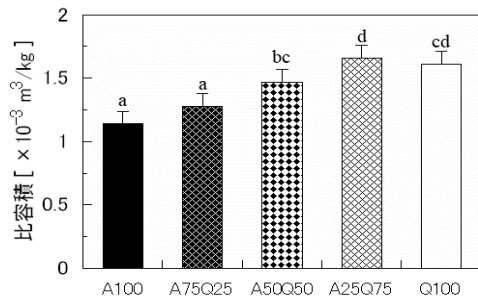


Fig.1 配合割合の異なる雑穀粉パンの比容積

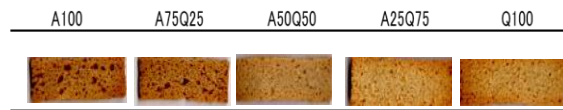


Fig.2 配合割合の異なる雑穀粉ラスクの断面写真

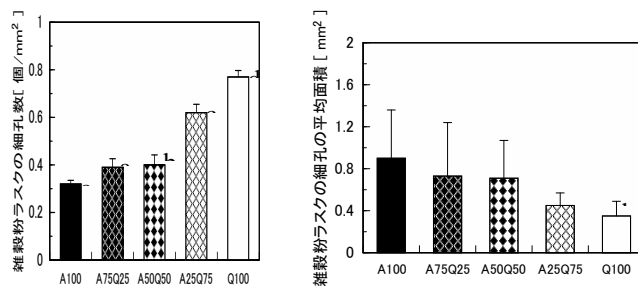


Fig.3 配合割合の異なる雑穀粉ラスクのきめの評価

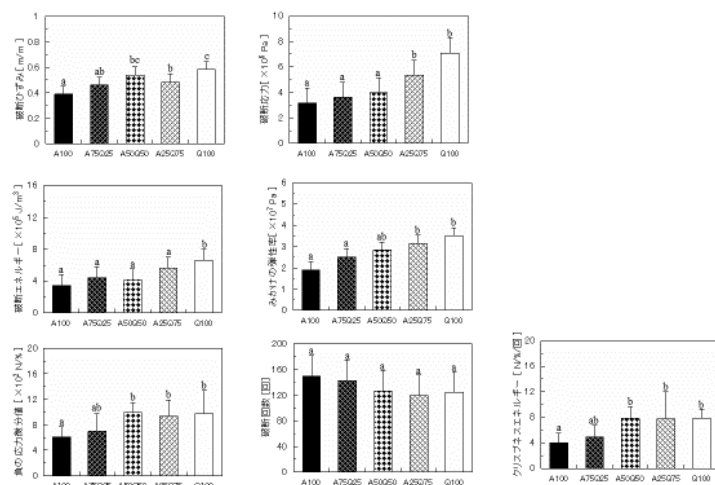


Fig.4 配合割合の異なる雑穀粉ラスクの破断特性

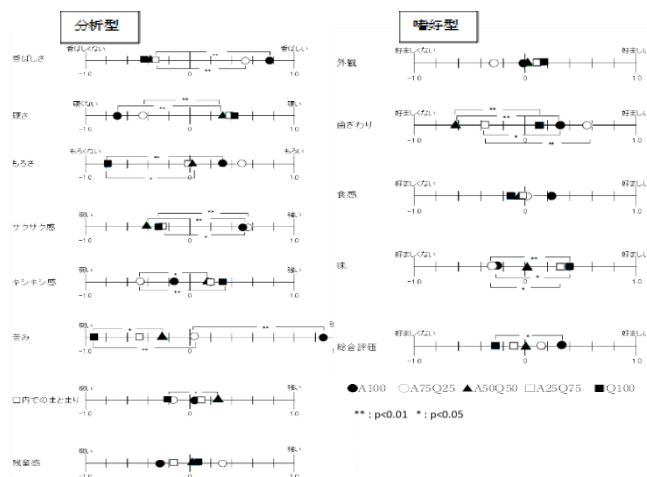


Fig.5 配合割合の異なる雑穀粉ラスクの官能評価結果

④ 市販品との比較

今回調製した雑穀ラスクの物性を、市販ラスクやクラッカー、ビスケットと比較したところ、破断応力、破断ひずみは顕著に高値を示した。みかけの弾性率も高値を示したが、一部の市販ラスクとは大きな違いはみられなかった。雑穀ラスクは市販のラスクとさほど変わらない食感と考えられるが、噛み切るのに強い力を要するラスクであることが示された (Fig. 6)。

(2) キヌア粉と大豆粉を用いたグルテンフリーラスクの物性

キヌア粉の割合が高いラスクでは、言葉出しの際に「カリカリ」、「ギンギシ」、「ゴリゴリ」、「ボソボソ」などの食べづらさを表すマイナスの表現が多く選ばれた。そこで、キヌア粉に大豆粉を混合させることで食感の改善ができないかと考え、雑穀／タンパク質複合化効果について検討した。

① きめの評価

40, 70°Cの低温で焼成したラスクは焼き色がかず、内相のきめは、大豆粉を混合することで粗くなり、焼成温度が高温になるほどその影響は顕著であった (Fig. 7)。

② 水分含量・水分活性

40, 70°Cで焼成したラスクは、水分含量は約4~6%、水分活性は約0.2~0.3であったのに対し、100, 120°Cで焼成したラスクは、水分含量は約2~3%、水分活性は約0.2であった。この値は粉乳やクルミの実などに近く、いずれの焼成条件のラスクも保存性が高いと推察される。

③ 破断特性

ラスクのみかけの弾性率、破断応力、破断エネルギーは市販食品より低値となった一方で、破断ひずみは市販食品より高値となった。またラスクの最大応力は、40, 70°Cで焼成したラスクが市販食品より高値となり、100, 120°Cで焼成したラスクは市販食品に近い値となる傾向が示された (Fig. 8)。焼成温度が高温になると破断応力は低値となった。

④ 官能評価

大豆粉を混合したラスクは、茶色が濃く、きめが粗く、香ばしいと評価された。大豆粉を50%まで混合すると硬くなり、もろくなくなると評価された。また、咀嚼中においてはキヌア粉のみのラスクに比べ、大豆粉の混合割合が増えるほど、硬く、カリカリ感が強く、まとまりにくくなると評価された。キヌア粉特有の根菜のような香りやえぐみは、大豆粉を混合することで弱められたが、飲みこみにくくなる傾向が見られた (Fig. 9)。

(3) キヌア粉と大豆粉を用いたグルテンフリーラスクの保存性

① 水分含量

ラスクの水分含量は10°C、25°C保存では有意差は認められなかったが、40°Cで保存するとキヌアのみラスクは1日後から7日後にかけて値が減少し、その後は変化が小さかったのに対し、大豆粉を添加したラスクでは1日後から28日後にかけて水分含量が有意に減少した。

② 水分活性

水分活性はすべての温度帯・配合割合で約0.2~0.35の範囲となり、0.5以下になったことからQ100、Q50S50、S100のラスクは保存期間の28日間腐敗しにくい状態であることが示された。水分活性は保存日数や保存温度の影響が認められなかったことから、温度や経過日数、配合割合が変化することによって腐敗の程度は大きく変化しないと考えられ、雑穀ラスクは28日間品質が保たれ、非常食としての利用可能性が示唆された。

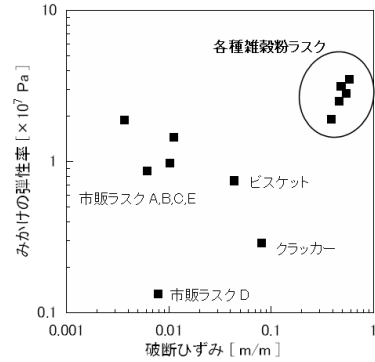


Fig.6 雑穀粉ラスクと市販食品のテクスチャーマップ

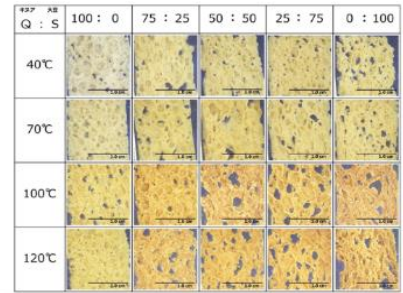


Fig.7 配合割合の異なる雑穀粉ラスクの断面

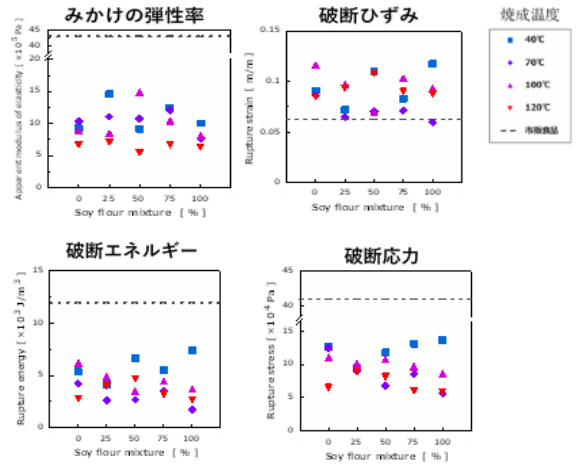


Fig.8 配合割合の異なる雑穀粉ラスクの破断特性

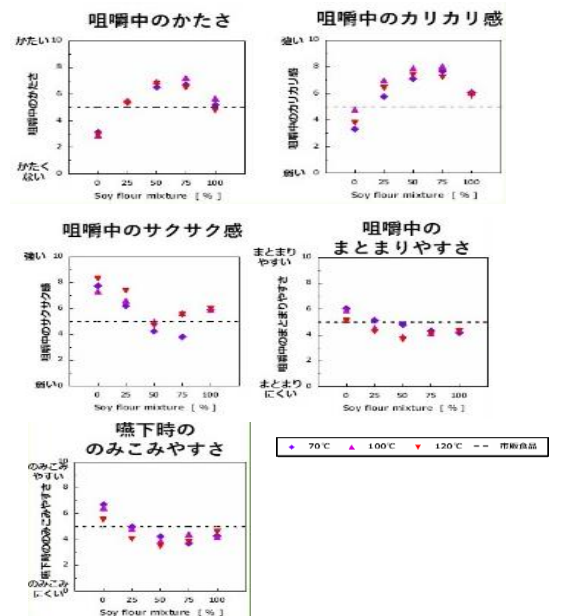


Fig.9 配合割合の異なる雑穀粉ラスクの官能評価結果

③ 破断応力

雑穀ラスクの破断応力に及ぼす保存の影響を Fig. 10 に示す。キヌア粉のみのラスクは保存温度によって経時変化が異なり、高温に保存するほど物性の変化が大きくなった。これに対し、大豆粉を混合することにより、保存温度による変化は小さくなり、ラスクの品質を安定化させることが示唆された。いずれの温度帯においても、キヌア粉のみのラスクが全保存期間において最も破断応力、クリस्पネスインデックスは小さくなり、サクサクしていると推察された。キヌア粉のみのラスクは、保存温度が高くなると破断応力、クリस्पネスインデックスは経時的に高値を示すようになり、サクサク感が弱まると考えられた。一方、大豆粉を添加したラスクでは、経時変化は小さくなったことから、キヌア粉に大豆粉を添加すると、サクサク感は弱まるものの、保存中の物性変化を抑えることができることが示された。

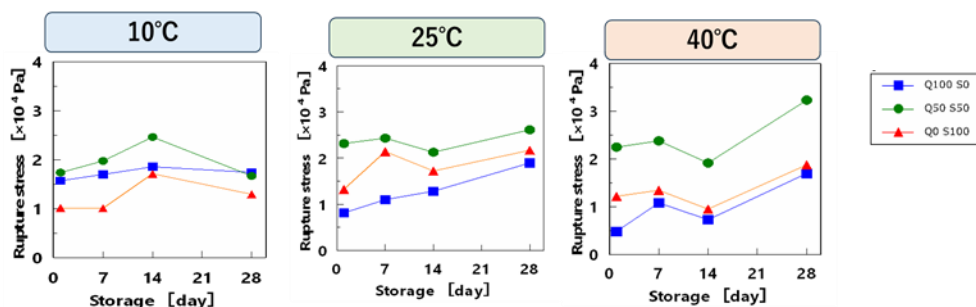


Fig.10 雑穀ラスクの破断応力に及ぼす保存の影響

(4) 総括

本研究の結果より、アマランサス粉とキヌア粉を用いたグルテンフリーラスクは、アマランサス粉主体のラスクの方が、きめは粗く硬くなく、サクサクした食感となり、好まれることが明らかとなり、味よりも食感が重要であることが示された。

一方、キヌア粉に大豆粉を 25%以上混合することで、硬く、カリカリ感の強いラスクとなったが、キヌア特有の香りやえぐみは抑えられた。外観や破碎感については、キヌア粉のみのラスクが好ましいと評価された。

ラスクのような乾燥状態の多孔質食品が持つ、サクサクとした食感を表す新たな客観的指標として、破断特性の応力微分値をもとにクリस्पネスインデックスを算出した。破断ひずみや破断応力はサクサク感やカリカリ感と相関が認められなかったのに対して、クリस्पネスインデックスはサクサク感、カリカリ感と相関が認められ、これらの食感を評価する客観的指標として有効である可能性が示された。保存性については、キヌア粉と大豆粉を用いたラスクの物性は、低温に保持した方が変化は小さく、乾燥食品としての品質が保たれることが示された。

〈引用文献〉

- 1) 肥後温子, 和田淑子, 佐藤之紀, 焼成菓子類における温度・湿度帯別力学特性と単分子層・多重層収着水分との関係, 日本食品科学工学会誌, **62**(4), 171-181 (2015).
- 2) 松元文子, 吉松藤子, 四訂調理実験, 柴田書店, 東京, pp. 36-137 (1997).
- 3) 永原太郎, 堤忠一乾燥法による米の水分定量, 食糧研究所研究報告, **14**, 77-82 (1959).
- 4) Arimi J. M., Duggan E., O'Sullivan M., Lyng J. G., O'Riordan E. D., Development of an acoustic measurement system for analyzing crispness during mechanical and sensory testing, *Journal of texture studies*, **41**, 320-340 (2010).
- 5) Blaker Kendra M, Correlation between sensory and instrumental measurements of standard and crisp-texture southern highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L. interspecific hybrids), *Journal of the science of food and agriculture*, **94**, 2785-2793 (2014).
- 6) Sahagun, M. and Gomez, M. Influence of protein source on characteristics and quality of gluten-free cookies, *J. Food Sci Technol*, **55**(10), 4131-4138 (2018).
- 7) 中屋澄子, Scheffe の一対比較法の一変法, 第 11 回日本科学技術連盟官能検査大会報告集, pp. 1-12 (1970).
- 8) 早川文代, 風見由香利, 阿久澤さゆり, 井奥加奈, 西成勝好, 神山かおる, 種々の食物名からみた日本語テクスチャー用語の特徴づけ, 日本食品科学工学会誌, **65**(7), 363-374 (2018).
- 9) 早川文代, 日本語テクスチャー用語の体系化と官能評価への利用, 日本食品科学工学会誌, **60**(7), 311-322 (2013).
- 10) 高橋敦子, 大城美桜, 土岐田佳子, 藤井恵子, 雑穀粉を用いたグルテンフリーラスクの開発とその物性, 日本女子大学大学院紀要家政学研究科・人間生活学研究科第 **27**, 61-72 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 高橋 敦子, 大城 美桜, 土岐田 佳子, 藤井 恵子	4. 巻 27
2. 論文標題 雑穀粉を用いたグルテンフリーラスクの開発とその物性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科	6. 最初と最後の頁 61~72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大塚春奈, 小崎智恵, 藤井恵子
2. 発表標題 キヌア粉と大豆粉を用いたグルテンフリーラスクの調理特性
3. 学会等名 日本官能評価学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大塚春奈, 小崎智恵, 田中愛美, 藤井恵子
2. 発表標題 キヌア粉を用いたグルテンフリー含泡食品における大豆粉添加の影響
3. 学会等名 日本官能評価学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山内奈織, 田中愛美, 藤井恵子
2. 発表標題 雑穀粉を用いたグルテンフリーパンの製パン性に関する研究
3. 学会等名 第69回日本応用糖質科学会
4. 発表年 2020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
研究分担者	林 典子 (HAYASHI Noriko) (30775870)	十文字学園女子大学・人間生活学部・准教授 (32415)	
研究分担者	海老澤 元宏 (EBISAWA Motohiro) (30338876)	独立行政法人国立病院機構（相模原病院臨床研究センター）・アレルギー性疾患研究部・部長 (82710)	
研究分担者	藤井 智幸 (FUJII Tomoyuki) (40228953)	東北大学・農学研究科・教授 (11301)	

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
---------	---------