

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

Development of Gluten-free Rusks Prepared with Millet Flour and its Physical Properties

高橋 敦子*
Atsuko TAKAHASHI

大城 美桜**
Mio OHSHIRO

土岐田 佳子**
Yoshiko TOKITA

藤井 恵子**
Keiko FUJII

要 約 本研究では、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を開発し、その物性を明らかにすることを目的とした。雑穀粉ラスクの品質は曲げ特性、破断特性、きめ、色度を測定した。さらに官能評価を行い、食感及び嗜好性を評価した。

雑穀粉ラスクはアマランサス粉の配合割合が高い試料が色相が低く、曲げ特性については曲げ応力、曲げ弾性率は低下した。また、破断特性についても破断応力、みかけの弾性率および負の応力微分値を破断回数で除したクリスプネスエネルギーは、アマランサス粉の配合割合が高い試料が低値を示した。官能評価においては、アマランサス粉 100%のラスクが、苦みは強いが、香ばしく、サクサクしていると評価され、総合的に最も好まれた。

キーワード：グルテンフリー、雑穀、アマランサス、キヌア、ラスク

Abstract The purpose of this study was to develop gluten-free rusks prepared with amaranth flour and quinoa flour and to ascertain its physical properties. The quality of millet flour rusks was measured based on bending and rupture properties, texture, and chromaticity. In addition, sensory evaluation was performed to evaluate texture and palatability. A sample with a high amaranth flour content had a dark hue, and the bending stress and flexural modulus decreased. The rupture stress, apparent elastic modulus, and crispness (the latter was obtained by dividing the negative stress derivative by the number of breaks) were lower in a sample with a high ratio of amaranth flour. Sensory evaluation indicated that 100% amaranth flour rusks were bitter but fragrant and crispy and were the most preferred overall.

Key words : gluten-free, millet, amaranth, quinoa, rusk

1. 緒言

健康志向が高まる中、雑穀は現代人に不足しがちなミネラルや食物繊維を豊富に含む食材として注目を集めている。さらに、雑穀はグルテンフリー食材であり、小麦アレルギーやセリアック病患者に対す

る食品としての利用も期待できる。東京都のアレルギー疾患調査において、食物アレルギーと診断された子どもは約 14%と報告されている¹⁾。また、セリアック病は欧米では全体の 1%ほどの罹患率で、日本の患者数はおよそ 0.05%とされている²⁾。このことから、グルテンフリー食品の需要は高いが、研究においては小麦粉の一部を雑穀粉に置換した研究が多く、グルテンフリーの雑穀粉のみを用いた食品の研究は少ない³⁻⁶⁾。一方、2011年に発生した東日本大震災や、2016年の熊本地震での教訓から、災害食への注目が高まり、アルファ化米や缶詰パン、レスキューフーズなどの需要が高まった⁷⁻⁹⁾。しか

* 日本女子大学大学院 人間生活学研究科 生活環境学専攻

Graduate School of Human Life Science, Division of Living Environment, Japan Women's University

** 日本女子大学 家政学部 食物学科

Department of Food and Nutrition, Faculty of Human Sciences and Design, Japan Women's University

し非常食は、エネルギー源の補給にとどまるものが多く、栄養価値まで考慮されたものは少なく、さらにアレルギー患者向けの非常食が少ないことが課題である。これまでアレルギー対応食として、雑穀粉を用いたグルテンフリーのパンや麺の研究を行ってきたが、グルテンを含まないため、保存性の悪さが課題となっている。

食品を保存する際、腐敗や老化が進行するが、これを防止するためには温度と含水率を低下させる方法が重要であるとされている¹⁰⁻¹⁴⁾。

そこでこれらの背景から、本研究では、①三大アレルゲンである卵、乳、小麦を用いないグルテンフリー食品であること、②保存性が高く、災害時に主食として利用できること、③健康維持・増進に寄与する食品の第三次機能を有することの3点を主眼点とし、雑穀を用いたラスクの調製を試みた。雑穀の中でもミネラルや食物繊維を豊富に含んでいるアマランサスとキヌアを選び配合割合を変化させた5種類の雑穀粉ラスクを調製し、物性に与える影響を検討することを目的とした^{5, 15-17)}。

2. 実験方法

2-1. 実験材料

雑穀粉ラスクの材料として、キヌア粉（インド産、一般社団法人日本雑穀協会）、アマランサス粉（ペルー産、辻安全食品株式会社）、無調整豆乳（キッコーマン株式会社）、グラニュー糖（三井製糖株式会社）、ベーキングパウダー（共立食品株式会社）を用いた。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段階に調整した。試料の配合および雑穀粉の配合割合をTable 1に示す。加水量は、予備実験において、最も製パン性が良いと評価された加水量すなわち、A100:110%, A75Q25:110%, A50Q50:130%, A25Q75:110%, Q100:120%とした。

2-2. 試料調製

1) パンの調製方法

パンの調製に豆乳泡沫を用いた。25℃の豆乳を攪拌し、泡沫を調製した。攪拌にはハンドミキサー（HTM-5J:株式会社クイジナートサンエイ）を用いて650 rpmで2分間攪拌した。そこにグラニュー糖を添加し更に3分間攪拌し、計5分間攪拌した。ここに、雑穀粉とベーキングパウダーを加え、パッ

Table 1 Sample mixing ratio.

	ベーカース%
雑穀粉*	100
豆乳	90
蒸留水	110~130
グラニュー糖	28
ベーキングパウダー	4

*[A100] アマランサス100:キヌア 0
 [A75Q25] アマランサス 75:キヌア 25
 [A50Q50] アマランサス 50:キヌア 50
 [A25Q75] アマランサス 25:キヌア 75
 [Q100] アマランサス 0:キヌア100

ターとした。バターを流し箱（横12 cm×縦7.5 cm×高さ4.5 cm）に150 gずつ分注し、上部をアルミホイルで包み、オープン（HEALSIO AX-GX2:SHARP 株式会社）を用いて200℃で30分間焼成し、パンを調製した。焼成後、型から取り出し、25℃の室温で45分間放冷した。

放冷後、RH65%に保った密閉容器内にパンを入れ、25℃で24時間保管した。

2) ラスクの焼成方法

24時間保管したパンを、スライサー（ritter E16:リッター社）を用いて、5 mmにスライスし、120℃で30分間焼成した。焼成後、25℃の室温で30分間放冷し、デシケーター内で保管した。

2-3. 測定方法

1) 比容積

業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¹⁸⁾。

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、画像解析ソフト（ImageJ）を用いてラスクの中央部（縦15 mm×横40 mm）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、中央値を算出した。

3) 色度

各種ラスク試料の表面中央部分の色度を色度計（Color Meter NE 2000:日本電色工業株式会社）を用いて測定した。JIS（JIS Z 8729）に採用されているL*, a*, b*表色系により、明度L*, 赤度a*, 黄度b*, 白度Wを測定し、色相(b*/a*)、彩度($\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$)を算出した。

4) 三点曲げ試験

クリープメーター（レオナーRE-3305：株式会社山電）を用いて三点曲げ試験を行った。試料は横40 mm×縦15 mm×厚さ5 mmの大きさにして、30 mm×1 mmのくさび型プランジャーを使用し、圧縮速度1 mm/sで測定し、曲げひずみ、曲げ応力、曲げ弾性率を算出した。

5) 破断試験

クリープメーター（レオナーRE-3305：株式会社山電）を用いて破断特性を測定し、さらに試料のサクサク感を数値化することを試みた¹⁹⁻²³⁾。試料は40 mm×15 mm×厚さ5 mmの大きさにして、直径5 mmの円柱型プランジャーを用いて圧縮した際の破断特性を測定した。圧縮速度0.1 mm/s、圧縮割合を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、みかけの弾性率を算出し、さらに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スプネスエネルギーを算出した。

6) 官能評価

雑穀粉ラスクの嗜好性を調べるため、雑穀粉の配合割合を変えた5種類の雑穀粉ラスク（A100, A75Q25, A50Q50, A25Q75, Q100）の官能評価を実施した²⁴⁻²⁶⁾。方法はSchefféの対比較法の変法（中屋の変法）を用い²⁷⁾、質問項目は、分析型として、香ばしさ、硬さ、もろさ、サクサク感、キシキシ感、苦み、口内でのまとまり、残留感の8項目、嗜好型として、外観（焼き色）、歯ざわり、食感、味、総合評価の5項目について-3～+3の7段階で評価してもらった。さらに食感の表現について早川らのテクスチャー用語の中からラスクに関連する用語（サクサク、ザクザク、カリカリ、ギシギシ、ガリガリ、ボロボロ、バラバラ、イガイガ、カスカス、サラサラ、パサパサ、ボソボソ、ゴリゴリ）を選び、各試料についてふさわしい2つの用語を選んでもらった²⁸⁾。パネルは本学食物学科学学生20名とした。

2-4. 統計処理

統計処理については、統計ソフト（Excel 統計2012）を用いて一元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合にはSchefféの方法を用いて試料間の検定を行った。いずれも危険率5%未満を有意水準とした。

3. 結果および考察

3-1. 比容積

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、アマランサスの配合割合が高くなるほどパンの比容積は小さくなった。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。雑穀粉の粉体特性をTable 2に示す²⁹⁾。粉体特性の結果から、雑穀粉のアミロース含量と粒径、澱粉損傷度が比容積に影響を与えていると考えられた。すなわち粒径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³⁰⁾、粒径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。

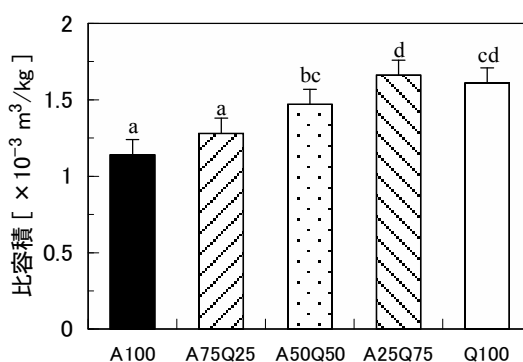


Fig. 1 Specific volumes of millet bread with different mixing ratios.

Table 2 Powder characteristics of millet flour.

		アマランサス	キヌア
水分含量	[%]	8.9	10.4
デンプン含量	[%]	53.9	58.1
アミロース含量	[%]	3.0	9.0
タンパク質含量	[%]	13.9	12.0
澱粉損傷度	[%]	5.4	4.8
メジアン径	[μm]	211	174
体積基準平均粒径	[μm]	227	189
最小粒径	[μm]	2.92	0.83
最大粒径	[μm]	749	724

また、アミロース含量とパンの比容積は正の相関を示すことが報告されており³⁰⁾、本研究においてもアミロース含量の低いアマランサスのパンの方が比容積が小さくなった。

さらに、澱粉損傷度とパンの比容積に負の相関が見られたという報告があるが^{29, 31, 32)}、本研究においても、キヌアと比べて澱粉損傷度の高いアマランサスのパンの方が、パンの比容積が小さくなった。

3-2. きめの評価

配合割合の異なる各雑穀ラスクの断面写真を Fig. 2 に、雑穀粉ラスクの細孔数およ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、パンを焼成した際、ケービングが起き、焼成時に細孔の崩壊や合一が起きたために不均質できめが粗くなった。

3-3. 色度

配合割合の異なる雑穀粉ラスクの色度を Table 3 に示す。

アマランサスの配合割合が高い試料では、明度、白度、色相が低値を示し、赤度が高値を示した。逆にキヌア粉の配合割合が高い試料では赤度が低値を

示し、明度、白度、色相が高値を示した。これらの結果より、アマランサス粉が多いラスクは暗く、赤っぽい色であり、キヌア粉が多いラスクは明るく、白っぽい色になることが示された。彩度については雑穀粉の配合割合による違いがほとんどみられず、鮮やかさの違いは顕著ではなかった。

3-4. 曲げ特性

三点曲げ試験での応力-ひずみ曲線を Fig. 4 に示す。ラスクは個体差が大きく、同じ焼成条件の試料でも破断の様子に違いが見られ、大きく2つの破断パターン（パターン A、パターン B）に分けられた。

代表的な2つの破断パターンの特性から、波形の違いはプランジャーに接触するラスクの表面の状態の違いによるものと考えられた。パターン A はプランジャーが試料に触れた直後に一気に破断が起こっていると考えられたため、接触面の細孔が少なく比較的平らで均質な形状であったと推測された。一方パターン B はパターン A に比べ破断応力が小さく、破断点が複数みられたことから、プランジャーの接触面に細孔が多く分布し、表面に凹凸がみられる試料である可能性が推測された。大きい細孔が多く存在するアマランサス粉の配合割合が高い試料に、パターン B 波形の出現が多く見られたことから、破断パターンの違いは接触面の細孔の有無・凹凸の状態によるものであると考えられた。

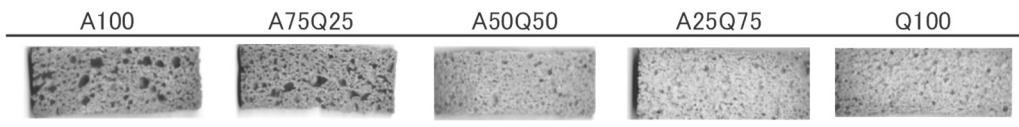


Fig. 2 Cross-sectional photographs of millet flour rusks with different mixing ratios.

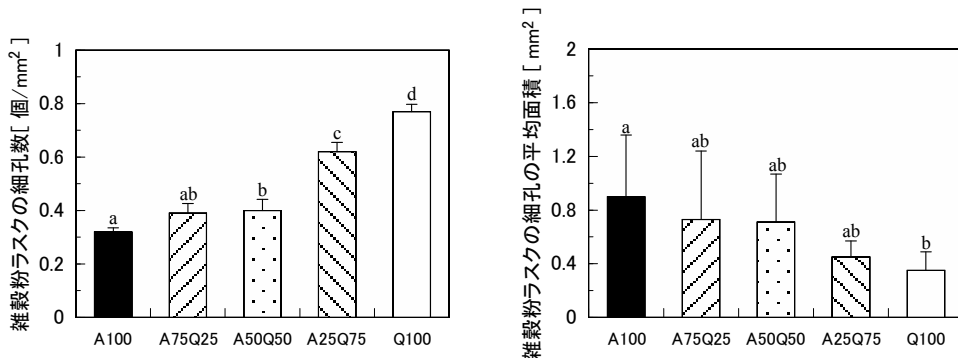


Fig. 3 Number of pores and average area of pores in millet flour rusks with different mixing ratios.

Table 3 Chromaticity of millet flour rusks with different mixing ratios.

	A100	A75Q25	A50Q50	A25Q75	Q100
明度[L*]	53.8 ± 4.20 ^a	49.3 ± 4.80 ^b	54.2 ± 4.34 ^{ac}	59.1 ± 1.52 ^d	61.5 ± 2.45 ^e
赤度[a*]	9.30 ± 2.11 ^a	8.77 ± 1.25 ^{ab}	8.36 ± 2.86 ^{ac}	5.81 ± 2.35 ^d	4.78 ± 1.15 ^{de}
黄度[b*]	27.2 ± 2.24 ^a	27.3 ± 2.07 ^a	28.2 ± 2.51 ^a	28.3 ± 2.57 ^a	29.2 ± 2.37 ^a
白度[W]	43.2 ± 2.36 ^a	41.5 ± 2.00 ^{ab}	43.7 ± 3.81 ^{ac}	48.2 ± 1.74 ^d	50.2 ± 2.21 ^{de}
色相[b*/a*]	3.17 ± 0.77 ^a	3.22 ± 0.62 ^{ab}	3.55 ± 0.78 ^{ac}	5.27 ± 1.17 ^d	6.35 ± 1.41 ^{de}
彩度 [$\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$]	6.02 ± 0.27 ^a	6.00 ± 0.22 ^a	6.04 ± 0.32 ^a	5.83 ± 0.38 ^a	5.83 ± 0.30 ^a

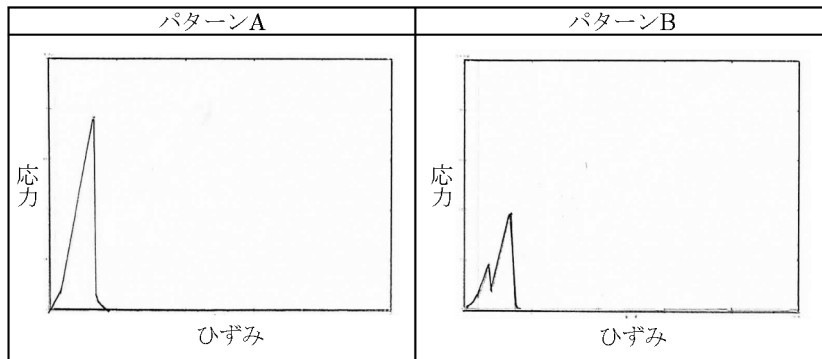


Fig. 4 Characteristics of stress-strain curves produced by millet flour rusks in the three-point bending test.

雑穀粉ラスクの曲げ特性に及ぼす雑穀粉の配合割合の影響を Fig. 5 に示す。破断波形パターン別に見ると、パターン A では曲げ応力は A100 と A75Q25 試料では変化は少なく、キヌア粉の配合割合が 50% 以上含まれると曲げ応力は大きく増加したが、50% 以上の試料ではあまり変化がなかった。曲げ弾性率はキヌア粉の配合割合の増加に伴い増加した。つまりキヌア粉の配合割合の高い試料は硬く、噛み砕くのに強い力を必要とすることが明らかとなった。曲げひずみに関してはアマランサス単独のラスクが他の試料と比べ高値となったが、その他の試料間においては有意差は認められなかった。

パターン B では曲げ応力、曲げ弾性率について雑穀粉の配合割合に関わらず、全体的に低値を示し、試料間の顕著な違いは認められなかった。曲げひずみについては、パターン B の方がパターン A よりも全体的に高値を示したが試料間に有意差は認められなかった。これは、接触面に細孔が多く存在し、

表面から徐々に亀裂を生じ破断したため、配合割合の影響よりも細孔の影響が大きいのではないかと考えられた。

3-5. 破断特性

配合割合の異なる雑穀粉ラスクの応力-ひずみ曲線と微分波形の結果を Fig. 6 に、また破断特性値の結果を Fig. 7 に示す。アマランサスの配合割合が高い試料の方が破断の回数が多く、少しずつ試料に亀裂を生じながら徐々に破断した。一方、キヌアの配合割合の高い試料では破断の回数が少なく一気に破断した。そのため、キヌア粉の配合割合の高い試料では、破断波形から明瞭な破断点を読み取ることが可能であった。最大応力時に着目すると、アマランサス粉の配合割合の高い試料と比較して、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。

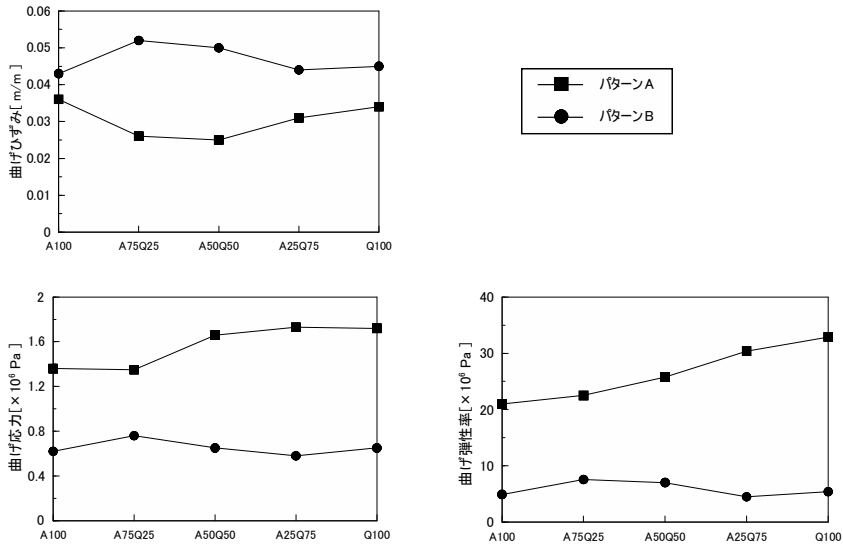


Fig. 5 Effect of the millet flour mixing ratio on the bending characteristics of millet flour rusks (by breaking patterns in stress-strain curves).

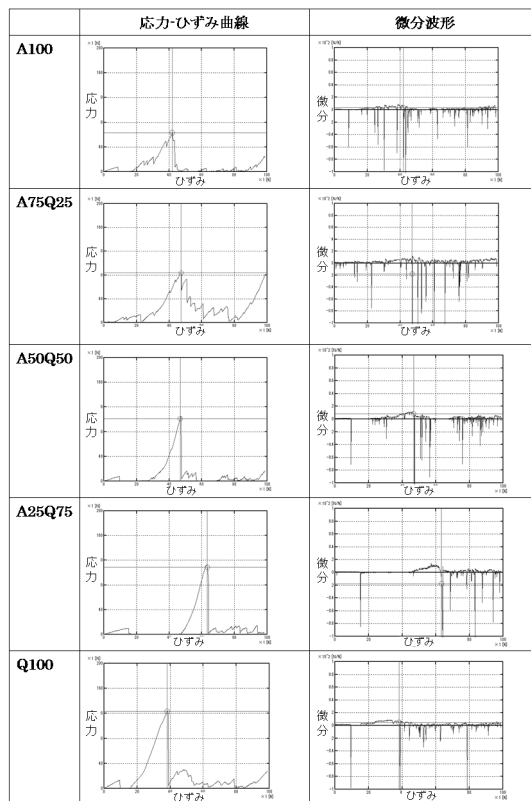


Fig. 6 Stress-strain curves and differential waveform of millet flour rusks with different mixing ratios (5 mm ϕ cylindrical plunger).

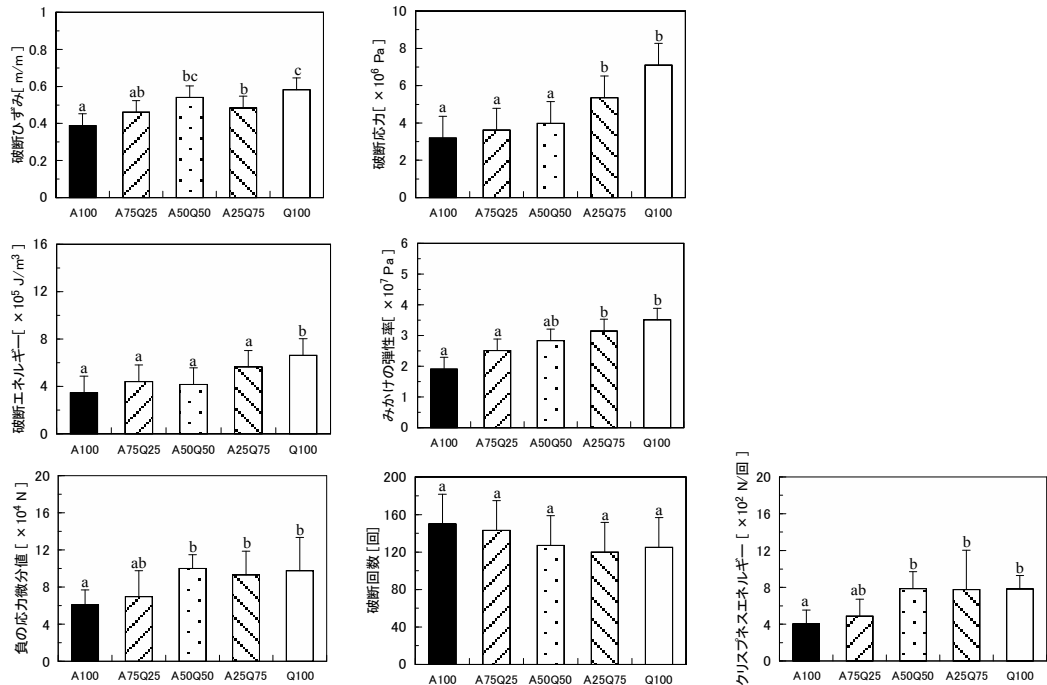


Fig. 7 Breaking properties of millet flour rusks with different mixing ratios (5 mm ϕ cylindrical plunger).

破断エネルギー、みかけの弾性率もいずれもキヌア粉の配合割合の増加に伴って高値を示し、この結果は曲げ特性と同様であった。

負の応力微分値はキヌア粉の配合割合が高い方が大きく、一方破断回数はキヌア粉の配合割合が高い方が低値を示した。その結果、クリスプネスエネルギーはキヌア粉50%以上の配合割合の試料が高値を示した。このことから、キヌア粉を50%以上添加するとラスクの食感に大きな影響を与えたと考えられた。

クリスプネスエネルギーはラスクのサクサク感を表すのではないかと考えられたため^{22,33)}、負の応力微分値の大きさを9つの区間に分け、各区間の出現割合を示した結果を Table 4 に表す。負の応力微分値が $-30 [\times 10^2 \text{ N}]$ までの区間に集中していたため、負の応力微分値 $-30 [\times 10^2 \text{ N}]$ までの区間は5刻み、それ以降は数が激減したため30刻みで区間分けした。アマランサス粉の配合割合の高いラスク (A100, A75Q25) では、負の応力微分値 $0 \sim -5 [\times 10^2 \text{ N}]$ までの区間の出現頻度が最多となり、負の応力微分値の振幅が大きい区間の頻度は減少した。

一方キヌア粉を50%以上配合したラスクでは、負の応力微分値 $-15 \sim -30 [\times 10^2 \text{ N}]$ の区間で出現頻度が最多となり、それ以降の領域では減少した。アマランサス粉の配合割合の高い試料で出現頻度が最大となった負の応力微分値 $0 \sim -5 [\times 10^2 \text{ N}]$ は、約20%程度であった。

すべての試料において負の応力微分値 $0 \sim -30 [\times 10^2 \text{ N}]$ までの区間に破断が集中し、特に負の応力微分値 $0 \sim -5 [\times 10^2 \text{ N}]$ の軽い破断が多いことが示された。また、キヌア粉の配合割合が高い試料では負の応力微分値 $-15 \sim -30 [\times 10^2 \text{ N}]$ の区間でピークがあり、アマランサスよりも軽い破断の割合が少ないことが明らかとなった。以上より、負の応力微分値の大きさから、ある程度サクサク感を表すことができるのではないかと推察され、アマランサスラスクの方がサクサクした食感ではないかと考えられた。

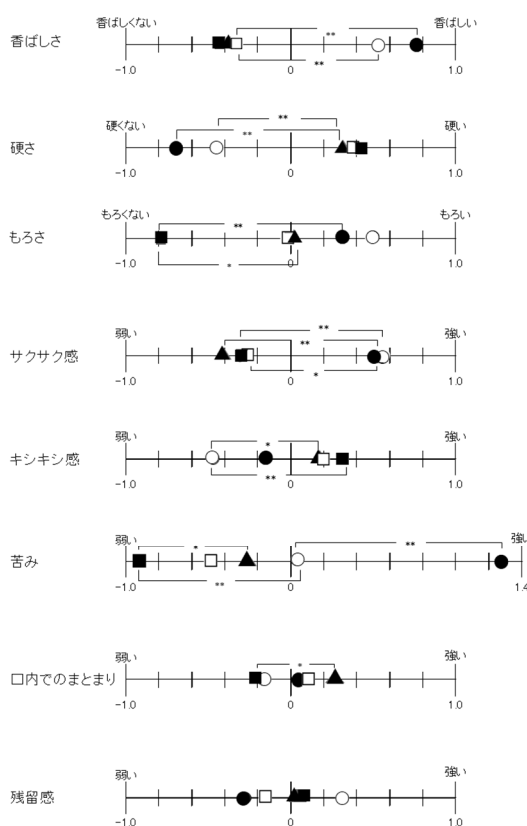
3-6. 官能評価

雑穀粉ラスクの官能評価における結果を Fig. 8 に示す。分析型試験の結果、香ばしさにおいてはアマ

Table 4 Frequency with which a negative stress derivative appeared.

負の応力微分値 $[\times 10^2 \text{ N}]$	A100	A75Q25	A50Q50	A25Q75	Q100
0～-5	28	34	16	18	20
-5～-10	19	21	11	6	14
-10～-15	21	14	9	14	8
-15～-20	11	13	18	25	19
-20～-25	10	10	19	20	27
-25～-30	4	5	9	6	4
-30～-60	6	2	10	6	7
-60～-90	0	1	4	2	1
-90～	1	1	4	1	1

分析型



嗜好型

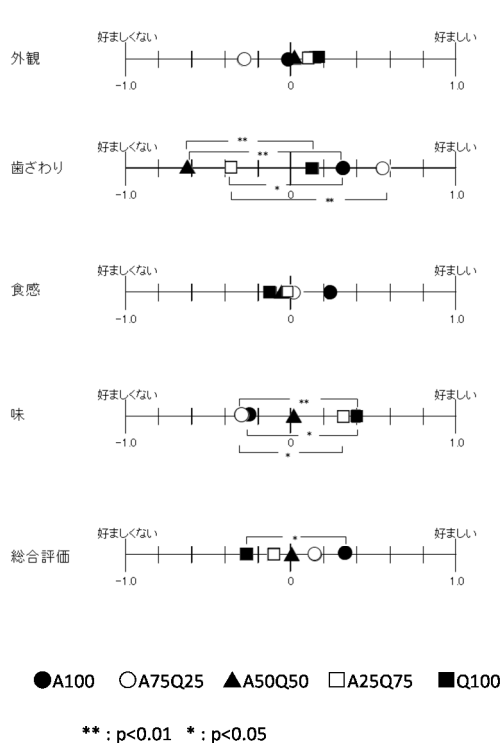


Fig. 8 Results of sensory evaluation of millet flour rusks.

ランサスの配合割合の高い試料 (A100, A75Q25) が有意に香ばしいと評価され、キヌア粉が50%以上含まれている試料では香ばしくないと評価された。アマランサスは独特の風味がキヌアよりも強いのではないかと考えられた。硬さにおいてはキヌア粉を

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。キヌア粉を50%以上の配合した3試料間では硬さの違いはほとんど認められなかったことから、前述した負の応力微分値・クリスプネスエネルギー同様、キヌア粉を50%

以上添加すると、硬くなると考えられた。サクサク感においては A100 が最もサクサクし、A50Q50 が最もサクサクしていないと評価された。この評価は客観的測定で算出したクリスピーネスエネルギーが小さいほどサクサクしていると評価され、クリスピーネスエネルギーがサクサク感を表す指標となりうるということが推察された。もろさにおいてはサクサク感と傾向が似ているが、Q100 が有意にもろくないと評価された。キシキシ感においては Q100 が最もキシキシしていると評価され、A75Q25 が最もキシキシしていないと評価された。口内のまとまりは A50Q50、A25Q75、A100、A75Q25、Q100 の順にまとまりやすいと評価され、残留感はいずれの傾向を示したことから、まとまりにくさは残留感の主要因となることが考えられた。苦味においてはアマランサス粉の配合割合が高いほど苦味が強いと評価され、A100 が最も苦く、Q100 が最も苦味がないと評価され、単独系では苦味の差が顕著に現れた。A75Q25 の試料が A50Q50、A25Q75 の試料と有意差が認められなかったことから、キヌア粉をわずかに混合することでアマランサスの苦味が改善できることが示された。

嗜好型試験の結果、歯ざわりにおいてアマランサス粉の配合割合の高い試料が好ましいと評価され、A50Q50 が最も好ましくないと評価された。食感に

ついては好みが分かれ、有意差は認められなかった。歯ざわりの好ましさはキシキシ感の弱さ、サクサク感の強さと同様の傾向を示したことから、サクサクし崩れやすく、まとまりやすく残留感のない試料が好まれることが明らかとなった。外観は有意差は認められなかったが、キヌア粉の配合割合の高いものが好まれる傾向にあった。

味に関しては、分析型試験において苦味が最も強いと評価された A100 は Q100 に比べ、好ましくないと評価されたが、総合評価では最も好ましいと評価された。このことから、ラスクのような乾燥食品では、食味以上にサクサク感などの食感が総合評価に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

配合割合の異なる雑穀粉ラスクの食感用語の出現率を Fig. 9 に示す。アマランサス粉の割合が高い試料では「サクサク（破断のしやすさ）」や「ザクザク（繰り返しの破断）」が多く選ばれ、軽い食感であることが推察された。

一方キヌア粉の割合が高い試料では、「カリカリ（破断や折れやすさ）」が多く選ばれ、また「ギシギシ（不完全な破断）」や「ゴリゴリ（密な塊）」「ボソボソ（劣化したような乾燥）」などの、食べづらさを表すマイナスの表現も比較的多く選ばれており、これらの食感が総合評価に影響を及ぼしたと考えられた。

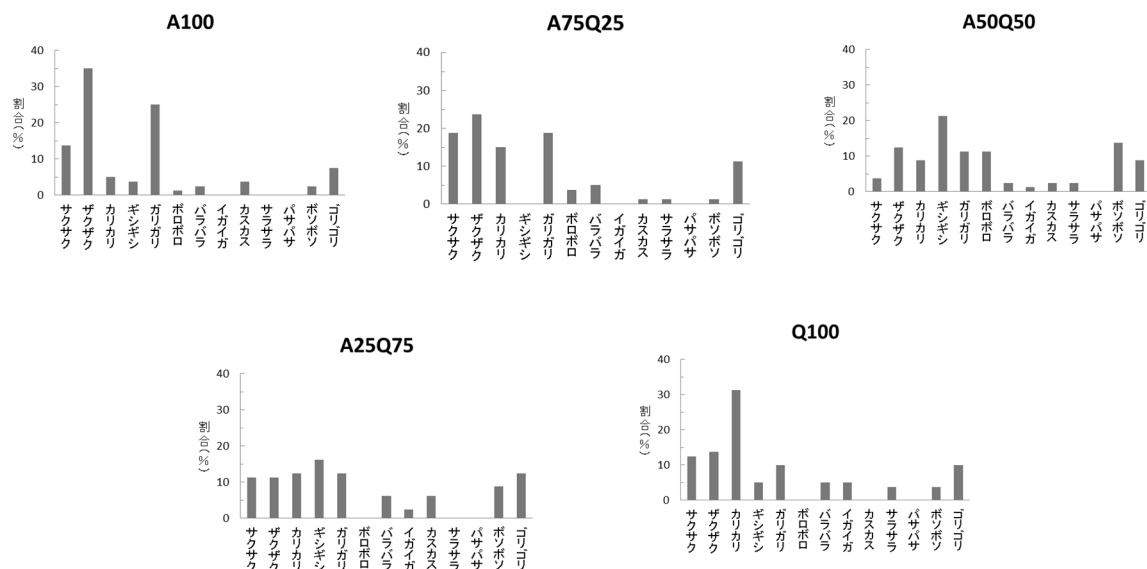


Fig. 9 Rate at which terms for texture appeared for millet flour rusks with different mixing ratios.

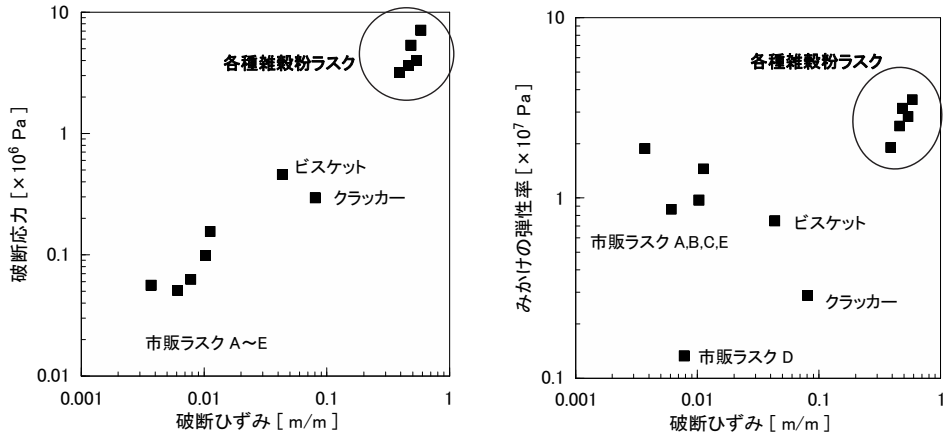


Fig. 10 Texture map of millet flour rusks and commercial foods.

3-7 市販食品との比較

市販のラスクやクラッカーなどの乾燥食品と、本研究で調製したラスクの破断特性を比較したテクスチャーマップを Fig. 10 に示す。雑穀粉ラスクは、市販ラスクやクラッカー、ビスケットと比較して破断応力、破断ひずみは顕著に高値を示した。みかけの弾性率はクラッカー、ビスケットより高値を示したが、一部の市販ラスクとはそれほど大きな差は見られなかった。このことから、雑穀粉ラスクは、歯ざわり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。今後さらなる食感の改善が課題である。

4. まとめ

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、アマランサス粉の割合が高い試料では比容積が小さくなり、内部には大きく不均質な細孔が分布した。一方、キヌア粉の割合が高い試料では比容積が大きく、細かい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。

これらの破断特性については、前歯で噛んだ際の硬さの評価として三点曲げ試験法を、試料全体の硬さやサクサク感の評価として円柱型プランジャーによる圧縮を用いて物性の検討を行った。密な内部構造を有したキヌア主体のラスクは、硬さの指標として用いられる曲げ応力が高値を示し、アマランサスラスクよりも硬くなることが明らかとなった。一方、アマランサス主体の試料は、破断応力は小さく、ク

リスプネスエネルギーは低値を示し、これがサクサクとした食感につながる事が推察された。

官能評価においてもアマランサス主体の試料は有意にサクサクしていると評価され、食感の嗜好性が高く、総合的に好まれた。

以上の結果より、クリスプネスエネルギーはサクサクした食感を示す指標となりうる事が示された。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、きめは粗い方が硬さが小さく、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。

本研究は、JSPS 科研費 JP 20K02350 の助成を受けたものです。

5. 引用文献

- 1) アレルギー疾患に関する3歳児全都調査 令和元年度, 東京都健康安全研究センター, <https://www.metro.tokyo.lg.jp>, 閲覧年月日 2020.12.23
- 2) セリアック病の原因や症状とは? 日本で増加傾向にある理由, メディカルノート, <https://medicalnote.jp/contents/171018-003-XD>, 閲覧年月日 2020.12.18
- 3) 大迫早苗: キヌア添加によるスポンジケーキの食味特性, 相模女子大学紀要 自然系, 70B, 15-22 (2006)
- 4) 大迫早苗: 雑穀の利用と今後の課題, 日本調理科学会誌, 46 (2), 142-143 (2013)
- 5) 西澤直行: 見直される雑穀とその食品開発・商

- 品化, *Techno innovation* 11 (1), 27-32 (2001)
- 6) Sneha A. and Haripriya A. : Development of amaranth grain (*Amaranthus cruentus*) based instant Dosa mix and its quality characteristics , *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3 (1), 6-11 (2018)
- 7) 別府茂 : 中越地震からの提言『被災地の食事』前編, 食の科学, 326, 52-57 (2005)
- 8) 奥田和子 : 阪神大震災の教訓から生まれた新開発《レスキューフーズ》の評価, 食の科学, 305, 39-47 (2003)
- 9) 門脇基二, 井上誠 : 新潟大学地域連携フードサイエンス・センター編, これからの非常食・災害食に求められるもの2, 光琳, 東京, pp.1-17, 19-35, 75-89 (2008)
- 10) 肥後温子, 和田淑子, 佐藤之紀 : 小麦粉焼成菓子の吸湿時の硬化と多重層収着水分との関係, 日本食品科学工学会誌, 59 (11), 562-571 (2012)
- 11) 肥後温子, 和田淑子, 佐藤之紀 : 小麦粉焼成菓子の温度・湿度帯別力学特性と単分子層・多重層収着水分量との関係, 日本食品科学工学会誌, 61 (10), 486-496 (2014)
- 12) 肥後温子, 和田淑子, 佐藤之紀 : 焼成菓子類における温度帯別力学特性と単分子層・多重層収着水分量との関係, 日本食品科学工学会誌, 62 (4), 171-181 (2015)
- 13) 和田淑子, 小川慶子, 肥後温子 : 吸湿による市販菓子類の破断特性値の変化とその要因, 日本食品科学工学会誌, 49 (12), 771-781 (2002)
- 14) Georget D.M.R. and Smith A.C. : A study of the effects of water content on the mechanical texture of breakfast cereal flakes, *Special publication - Royal Society of Chemistry*, 179, 196-199 (1996)
- 15) 根本和洋, 小西洋太郎 : アマランサスの機能性と食品特性, 食の科学, 326, 16-23 (2005)
- 16) 小川博, 渡辺克美, 光永敏郎, 目黒忠道 : キノア投与が食餌性高脂血症誘導高血圧自然発症ラット (SHR) の血圧, 脂質代謝に及ぼす影響, 日本栄養・食糧学会誌, 54 (4), 221-227 (2001)
- 17) Oszvald M., Tamas C., Rakszegi M., Tomoskozi S., Bekes F. and Tamas L. : Effects of incorporated amaranth albumins on the functional properties of wheat dough, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89 (5), 882-889 (2009)
- 18) 松元文子, 吉松藤子 : 四訂調理実験, 柴田書店, 東京, pp.136-137 (1997)
- 19) 木下健 : イチからわかるおいしさの評価 粒子径分布による食感の「見える化」, 月刊フードケミカル, 29 (8), 57-64 (2013)
- 20) 西津貴久 : 食品加工の科学と工学－小麦粉製品を例として－5 小麦粉製品の内部構造と食感の評価, 化学と生物, 52 (10), 671-679 (2014)
- 21) 伊能教夫 : 食品の微細加工に着目した食感のバイオメカニクス, 浦上財団研究報告書, 19, 1-8 (2012)
- 22) Arimi J.M., Duggan E., O'Sullivan M., Lyng J.G. and O'Riordan E.D. : Development of an acoustic measurement system for analyzing crispness during mechanical and sensory testing, *Journal of texture studies*, 41 (3), 320-340 (2010)
- 23) Blaker M.K., Plotto A., Baldwin A.E. and Olmstead W.J. : 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 (13), 2785-2793 (2014)
- 24) 井上裕光 : 官能評価の理論と方法 現場で使う官能評価分析, 株式会社日科技連出版社, 東京, pp.147-154 (2012)
- 25) 佐藤信 : 統計的官能評価法, 株式会社日科技連出版社, 東京, pp.263-270 (1985)
- 26) 大越ひろ, 神宮英夫 : 食の官能評価入門, 光生館, 東京, pp.80-86 (2009)
- 27) 中屋澄子 : Scheffe の一対比較法の一変法, 第11回官能検査大会報文集, 1-12 (1970)
- 28) 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)
- 29) 石井和美, 早川あつ美, 藤井恵子 : 雑穀で調製したグルテンフリーパンの製パン性, 日本調理科学会誌, 51 (2), 89-96 (2018)
- 30) 高橋誠, 本間紀之, 諸橋敬子, 中村幸一, 鈴木保宏 : 米の品種特性が米粉パン品質に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, 56 (7), 394-402 (2009)

- 31) 與座宏一, 松木順子, 岡留博司, 岡部繭子, 鈴木啓太郎, 奥西智哉, 北村義明, 堀金彰, 山田純代, 松倉潮: 製粉方法の異なる米粉の特性と製パン性の関係, 食総研報, 74, 37-44 (2010)
- 32) 小河拓也, 永井耕介: 製粉方法が米粉の特性および製パン製に及ぼす影響, 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告(農業編), 59, 19-23 (2011)
- 33) 渡邊洋一: 第2章 第5節クリープメータによる測定, 進化する食品テクスチャー研究, 山野善正監修, (株)エヌ・ティー・エス, 東京, pp.69-77 (2011)