

## キヌア粉で調製した生地と製パン性に関する研究

### A study on the dough prepared from quinoa flour and baking quality

石井 和美<sup>1)</sup>

ISHII Kazumi

小林 三智子<sup>1)</sup>

KOBAYASHI Michiko

#### 要 旨

雑穀粉を主材料として製パン性を検討した研究は少なく、キヌアを主材料としたパンの研究は殆どない。これまでの検討で、キヌアを使用してパンが調製できることは明らかになったが、膨らみが悪く、クラムはぼそぼそしていた。そこで本研究では、膨らみを改善するためにメチルセルロース（MC）を1種、ヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC）を2種使用して、生地と製パン性に与える影響を検討した。ラピッドビスコアナライザーを使用してキヌア粉の糊化特性を測定したところ、MCE-4000を添加すると糊化開始温度は低下傾向を示し、他の2種では上昇傾向を示した。最高粘度は、MCE-4000を添加すると増加傾向を示し、SFE-4000を添加すると低下した。動的粘弾性の温度依存性を測定したところ、MCE-4000を添加した生地は70℃を超えたあたりから、SFE-4000、SE-50を添加した生地は67℃前後からコントロールの軌跡とほぼ重なり合い、どの増粘剤も貯蔵弾性率の増加にあまり寄与していないと考えられた。損失弾性率と損失正接は、コントロールも増粘剤を添加した場合も、68℃付近に変曲点が認められ、キヌア粉の糊化特性を反映しているものと考えられた。パンの比容積は、増粘剤を添加すると増加傾向を示したが、コントロールと比較して有意差は認められなかった。またMCE-4000を添加したパン以外はケービングを起こした。クラムのテクスチャーを解析したところ、MCE-4000を添加したパンはクラムが硬くなり、凝集性は低下した。焼成中にパンがケービングを起こしたのは、HPMCを添加した場合、軟らかいゲルを形成したために生地の伸びは良いが強度が不足し、膨らみを維持できなかったためだと考えられた。MCを添加した場合、ケービングは起こさなかったが発酵時と比較してパンの高さは減少した。強いゲルによってパンの骨格を構成出来たが、それを維持する働きをする澱粉が少ないため、発酵時の高さを維持できなかったのではないかと考えられた。

<sup>1)</sup> 十文字学園女子大学大学院人間生活学研究科食物栄養学専攻

Department of Food and Nutritional Sciences, Graduate School of Human Life Sciences, Jumonji University  
Graduate School

キーワード：グルテンフリーパン、キヌア粉、動的粘弾性、糊化特性

## 1. 緒言

キヌア (*Chenopodium quinoa* アカザ科アカザ属) は南米アンデス地方原産の雑穀 (擬似穀物) で、ボリビアやペルーが生産主要国である。紀元前3000年にはすでに栽培されていたといわれており、南米インカ帝国では重要な食料として位置付けられていた<sup>1)</sup>。アメリカ航空宇宙局 (NASA) が「二十一世紀の主要食になる」と発表したことはあまりにも有名である。これをきっかけとして、キヌアは広く知られるようになった。また、2013年は、国連が「国際キヌア年」と定め、キヌアのもつ可能性が評価され、日本でも様々な取り組みが行われた。最近では、その栄養価の高さと機能性の高さ<sup>2)</sup> から、「スーパーフード」として紹介され、ブームが起こった。

雑穀の利用法で一番簡便でよく用いられる方法は、米に混ぜ込んで炊飯する方法である。また、シリアルなどにも使用されているが、雑穀が主材料として利用されることは少ない。そこで、雑穀の用途開発のひとつとして、雑穀粉でパンを調製することに着目した。米の普及以来、主食といえば米が主流だったが、2010年以降の一世帯当たりの年間品目別支出額はパンが米を上回り<sup>3)</sup>、主食としての存在感が増したといえる。雑穀は、小麦粉と比較して現代人に不足しがちなカルシウム、鉄分や食物繊維を多く含んでいる。また、雑穀はグルテンを構成するタンパク質を含まないため、グルテンフリーパンとしてアレルギー対応食品への展開も期待できる。

しかしながら、雑穀粉を主材料としたパンの研究は少なく<sup>4-7)</sup>、小麦粉の一部を代替して製パン性を検討したものや、米粉を主材料として一部を雑穀粉で置き換えて影響を検討したものが多<sup>8-11)</sup>。キヌアを主材料として製パン性を検討したものはほとんどない。

私たちはこれまでに、数種の雑穀粉を使用して製パン性を検討してきた<sup>12)</sup>。キヌア粉で調製したパンは、その中でもクラムが良く整い、細かい気泡を保持していた。しかし膨らみは悪く、第一に改善すべき点だと考えられた。そこで、本研究では、まずキヌアパンの膨らみを改善することを目的とした。そのために増粘剤を添加し、生地と製パン性に与える影響を検討した。

## 2. 実験方法

### (1) 材料

キヌア粉 (ペルー産 辻安全食品 (株)) を使用した。パンの原材料として、グラニュー糖 (三井精糖 (株))、オリーブオイル (BOSCO Pure & mild 日清オイリオグループ (株))、食塩 ((公財) 塩事業センター) を使用した。増粘多糖類は、数種類を検討した結果、メチルセルロース (MC) 1 種 (メトロース MCE-4000 信越化学工業 (株)) (以下 MCE-4000 と示す)、ヒドロキシプロピルメチルセルロース (HPMC) 2 種 (メトロース SFE-4000、SE-50 同社製) (以下、SFE-4000、SE-50 と示す) を使用することにした。MC と HPMC は冷水に溶解し、加熱によってゲル化後冷却するとともに粘性のある溶液に戻る性質をもつ興味深い物質である。各増粘多糖類のゲル化温度 (2% 水溶液) は、製造元の仕様書によると MCE-4000 が 50~55℃、SFE-4000 が 61~65℃、SE-50 が 55~75℃ である。各増粘多糖類に付された数字は 2% 水溶液の粘度グレードを示している。製パン性の検討にはドライイースト (フランス産、S. I. Lesaffre) を使用した。

### (2) 成分分析および粉体特性

キヌア粉のタンパク質含量、脂質含量、澱粉含量、みかけのアミロース含量、澱粉損傷度について、

日本食品分析センターに依頼して分析した。タンパク質含量は燃焼法、脂質含量は酸分解法、澱粉含量は酵素法によって求めた。また、アミロース・アミロペクチン比は、アミロース/アミロペクチン測定キット（日本バイオコン（株））、澱粉損傷度は澱粉損傷度測定キット（同社製）を用いて試験した。

### （３）糊化特性の解析

キヌア粉のみで測定したものをコントロールとし、MCE-4000、SFE-4000、SE-50をそれぞれ1.50%添加して粉試料とした。

茨城県産業技術イノベーションセンターに依頼し、ラピッド・ビスコ・アナライザー（RVA）（RVA-4型 Newport Scientific 社）を使用して測定した。粉試料3.5 gに蒸留水25 mLを添加し測定試料とした。回転速度160 rpmで、50℃で1分間保持した後、7分間で95℃まで昇温して5分間保持した。その後7分間で50℃まで降温して2分間保持、計22分間の粘度－時間曲線を作成し、得られた曲線から粘度上昇開始温度（PT）、最高粘度（PV）、最小粘度（MV）、ブレイクダウン（BD）、セットバック（SB）、および最終粘度（FV）を得た。

### （４）生地の調製

生地の基本配合は、既報<sup>12)</sup>と同様にし、キヌア粉100 gに対してグラニュー糖5%、オリーブオイル5%、食塩1%、加水量120%を基本配合とした。増粘多糖類は、それぞれ添加量を変えて予備実験を行い、膨らみとクラムの状態から、MCE-4000、SFE-4000、SE-50を各1.25%添加することにした。

室温を25℃に設定し、まずグラニュー糖と増粘剤を混合してからキヌア粉と混合した。食塩を混ぜ、6℃に調整した蒸留水を加えてスパチュラで均質になるまで攪拌し、卓上ミキサー（AIKOH ケンミックス・シェフミキサー KM-800、（株）愛工舎製作所）を用いて、目盛1（自転256 rpm、公転77 rpm）で1分間、その後、目盛3（自転386 rpm、公転116 rpm）で4分間攪拌し、オリーブオイルを投入してさらに3分間攪拌した。

### （５）生地の動的粘弾性

調製直後の生地を試料として、レオメータ（MCR-502（株）アントンパール）を用いて動的粘弾性を測定した。ひずみ依存性の測定は、25℃において直径50 mmの平行プレートを使用し、周波数1 Hz、ギャップ1.0 mmで、ひずみ量を0.01～1,000%まで変化させて行った。その結果、ひずみは線形性を示した0.1%に決定した。

温度依存性を調べるために、直径27 mmの共軸円筒型の治具（MEAS CYLINDER B-CC27）を用いた。生地を約19.4 ml入れ、角周波数5 rad/s、ひずみ0.1%で20℃から90℃まで昇温速度2℃/minで昇温し、貯蔵弾性率（G'）、損失弾性率（G''）を測定し、損失正接（tan  $\delta$ ）を算出した。なお、生地の乾燥防止のために、共軸円筒上部にキャップをして測定した。

### （６）発酵時間の検討と食パンの調製

調製した生地ドライイーストを加え、卓上ミキサーでさらに2分間攪拌し、500 mLのトールビーカーに50 g分注して、発酵試験を行った。庫内温度39℃、相対湿度80%に設定したはいろ（MBKH-5M（株）マルゼン）で発酵させ、10分おきに状態を観察した。増粘多糖類を添加すると発酵のピークは70分だった。そこで総発酵時間を60分と70分に設定し、一次発酵と二次発酵の時間を検討した。既報<sup>12)</sup>と同様にマフィン型を使用して製パン性を検討したところ、コントロールでは二次発酵での膨らみを維持できず、焼成中にケービングを起こした。増粘多糖類を添加した場合、二次発酵の時間が長いとパンの比容積は大きくなるものの、クラムは気泡が不均一で粗かった。そこで、一次発酵のみで製パン試験を実施し、クラムが均一で膨らみが大きかった60分を発酵時間に決定した。

食パンは、フッ素樹脂コーティングしたスチール製の食パン型（W120×D120×H100 mm）で焼成した。キヌア粉250 gで調製した生地を560 g入れ、ほいろで60分間発酵させて焼成した。焼成温度と時間は、既報<sup>12)</sup>と同様に200℃で30分間焼成した。焼成時間は、予備実験において180℃で10分、その後220℃で焼成、また温度を220℃で一定にして時間を変えて焼成した。その結果、220℃では表面が焦げ、2段階の温度で焼成した場合には200℃で30分焼成した場合と体積やテクスチャーに差がなかったため、200℃で30分間焼成することにした。焼成後は直ちに型から取り出し、25℃で1時間放冷後に測定に供した。

### （7）食パンの比容積と力学的特性

菜種法<sup>13)</sup>で食パンのみかけの体積を測定し、比容積を算出した。パンのクラム中央部分を2 cm幅で水平にパン切り包丁で切り、その中央部分を2 cm角の直方体に切り出して測定試料とした。測定にはクリープメーター（レオナー RE2-3305B（株）山電）を使用した。試料の高さの75%まで直径4 cmのアクリル樹脂製円盤型ブランジャー（No.2）で2回圧縮し、テクスチャー特性値を解析した。また90%まで圧縮して得られた応力-ひずみ曲線から25%圧縮時、40%圧縮時の応力を求めた。ロードセルは20 N、200 Nを用い、圧縮速度は1 mm/sとした。

### （8）統計処理

統計処理ソフト（SPSS Statistics Ver.21 IBM）を使用して一元配置分散分析を行い、Bonferroni法による多重比較によって検定した。統計的有意水準は5%未満とした。

## 3. 結果および考察

### （1）成分分析および粉体特性

キヌア粉の組成は、タンパク質11.9%、脂質4.3%、澱粉含量は62.3%だった。また、みかけのアミロース含量は8.0%と少なく、もち種に近いともいえる。また、鉄分は3.9 mgで、小麦粉の0.9 mg<sup>14)</sup>、米粉の0.1 mg<sup>14)</sup>と比較するとかなり多く、カルシウム含量も43 mgと、小麦粉の17 mg<sup>14)</sup>、米粉の6 mg<sup>14)</sup>と比較して多かった。澱粉損傷度は5.5%だった。

### （2）糊化特性

RVAによって得られた糊化特性値をTable 1に示す。既報<sup>12)</sup>で報告した結果と同様、コントロール（キヌア粉）はBDとSBの値が低かった。糊化開始温度を示す、粘度が上昇を始めた時の温度は、コン

Table 1 RVA values of each suspension

	P T [℃]	P V [mPa · s]	M V [mPa · s]	B D [mPa · s]	S B [mPa · s]	F V [mPa · s]
Control	62.8 ± 1.1	1496 ± 8a	1315 ± 10	181 ± 17	-195 ± 16b	1121 ± 17
MCE-4000	60.6 ± 0.5	1528 ± 56a	1268 ± 113	201 ± 37	-148 ± 32ab	1078 ± 99
SFE-4000	62.9 ± 1.8	1283 ± 121b	1145 ± 56	138 ± 65	-66 ± 44a	1229 ± 338
SE-50	63.4 ± 1.2	1417 ± 16ab	1207 ± 20	210 ± 23	-207 ± 14b	1000 ± 10

PT: Pasting temperature, PV: Peak viscosity, MV: Minimum viscosity, BD: Break down, SB: Set back, FV: Final viscosity.

Each value represents the means ± S.D. (n=3) ab: In the same column on the table, means without a common letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

トロールは62.8℃だった。MCE-4000を添加すると糊化開始温度は低下傾向を示し、他の2種では上昇傾向を示したが、コントロールと比較して有意差は認められなかった。最高粘度はMCE-4000を添加したときが最も高くなり、SFE-4000を添加した場合は有意に低下した。BDはMCE-4000、SFE-4000を添加すると増加傾向を示し、SE-50を添加すると減少傾向を示したが、差は認められなかった。SBの値はすべてマイナスの値となり、SFE-4000を添加すると増加した。最終粘度には大きな差が認められなかった。

### (3) 動的粘弾性

3種の増粘多糖類を添加して調製した生地の温度依存性の代表的な軌跡をFig. 1-1に示す。貯蔵弾性率( $G'$ )のピークは、コントロールが最も高く、次いでMCE-4000、SFE-4000、SE-50を添加した生地の順だった。 $G'$ の図を、一部拡大した図がFig. 1-2である。MCE-4000を添加すると $G'$ の上昇は速くなり、50℃前後から急激に粘度が増加する傾向がみられた。65℃付近までは、どの増粘剤を添加してもコントロールを上回っていたが、SFE-4000とSE-50は、67℃前後でコントロールとほぼ重なりあった。また、MCE-4000も、70℃を超えるとコントロールの軌跡と重なった。この結果から、どの増粘剤も貯蔵弾性率の増加に大きくは寄与していないと考えられた。

損失弾性率( $G''$ )は、 $G'$ と同様にピークの値はコントロールが最も高く、次いでMCE-4000、SFE-4000、SE-50を添加した生地の順だった。 $G''$ と $\tan \delta$ については図に示していないが、コントロール、MCE-4000、SFE-4000、SE-50を添加したすべての生地について、曲線の68℃付近に変曲点が認められ

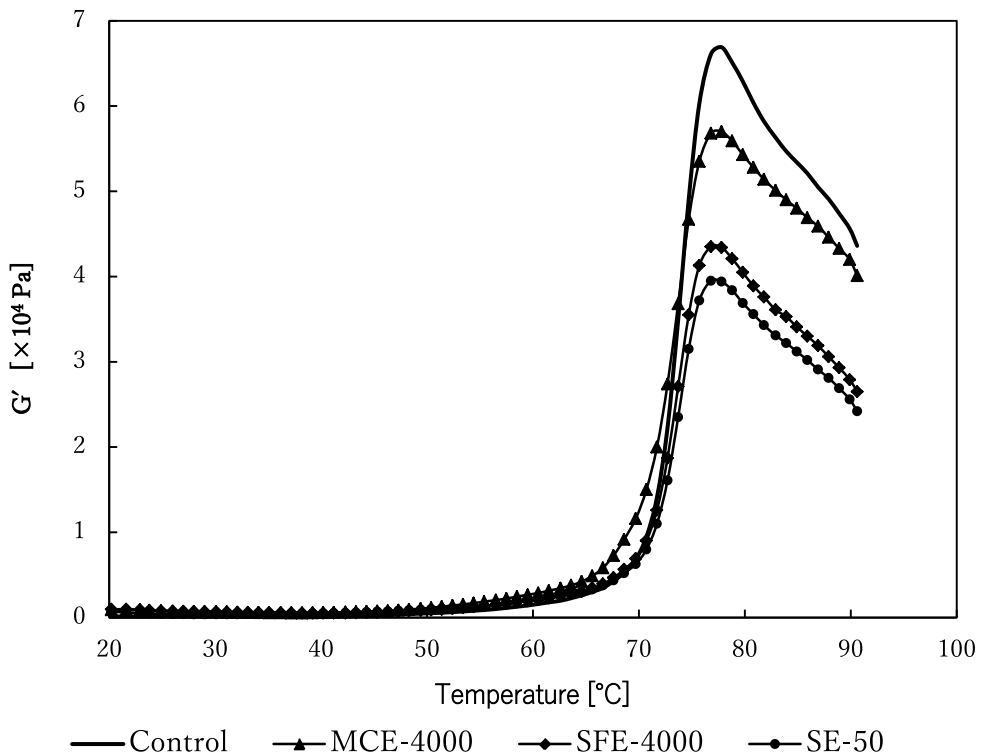


Fig. 1-1 Dynamic visco elasticity: Temperature dependence (Storage modulus  $G'$ )  
Control: Quinoa dough (—), MCE-4000 1.25% added dough (▲), SFE-4000 1.25% added dough (◆), SE-50 1.25% added dough (●)

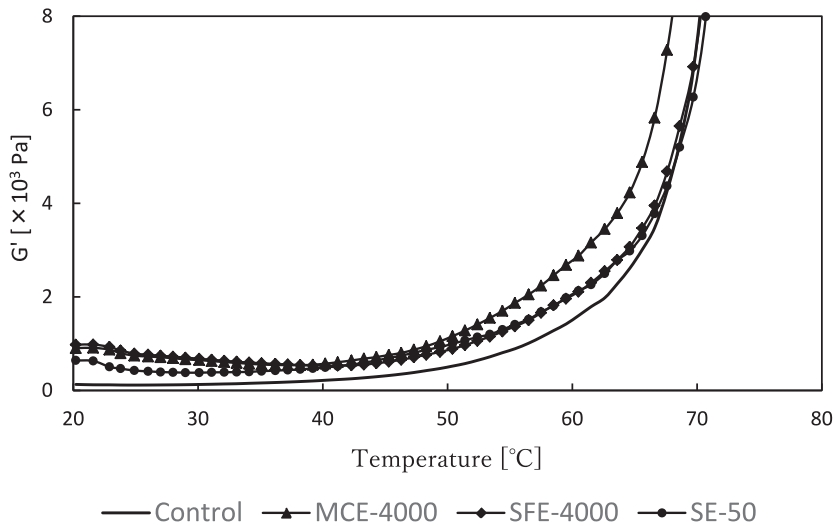


Fig. 1-2 The figure which expanded the range of 20-80 °C of Figure 1-1

た。糊化特性値測定結果における糊化開始温度とは乖離しているが、全てに共通していることから、キヌア粉の糊化特性を反映していると考えられた。3種の増粘剤のうち、SFE-4000とSE-50を添加した生地でははっきりしなかったが、MCE-4000を添加した生地はゲル化開始温度50～55℃付近に変曲点が認められた。

#### (4) 食パンの比容積と力学的特性

キヌア粉に、3種のメトロースを1.50%添加して調製したパンの断面写真をFig. 2に示した。

コントロールは焼成中にケービングを起こし、焼成後のパンの高さは発酵終了時より減少した。SE-50を添加した場合もケービングを起こしたが、コントロールと比較すると中央部分は高かった。MCE-4000とSFE-4000を添加すると、ともに食パン型のふち上部まで発酵によって膨化した。しかし、SFE-4000は、焼成後のパン側面の高さは大きかったが、中央部分は高さを維持できず、ケービングを起こした。MCE-4000は、発酵終了時はSFE-4000と同程度に膨化したが、焼成後のパンは中央部分の高

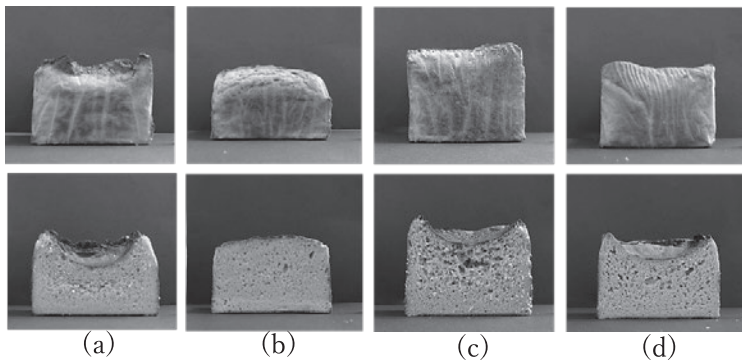


Fig. 2 Cross section images of bread prepared with quinoa flour

Control: Quinoa bread (a), bread with MCE-4000 added (b), bread with SFE-4000 added (c) and bread with SE-50 added (d).



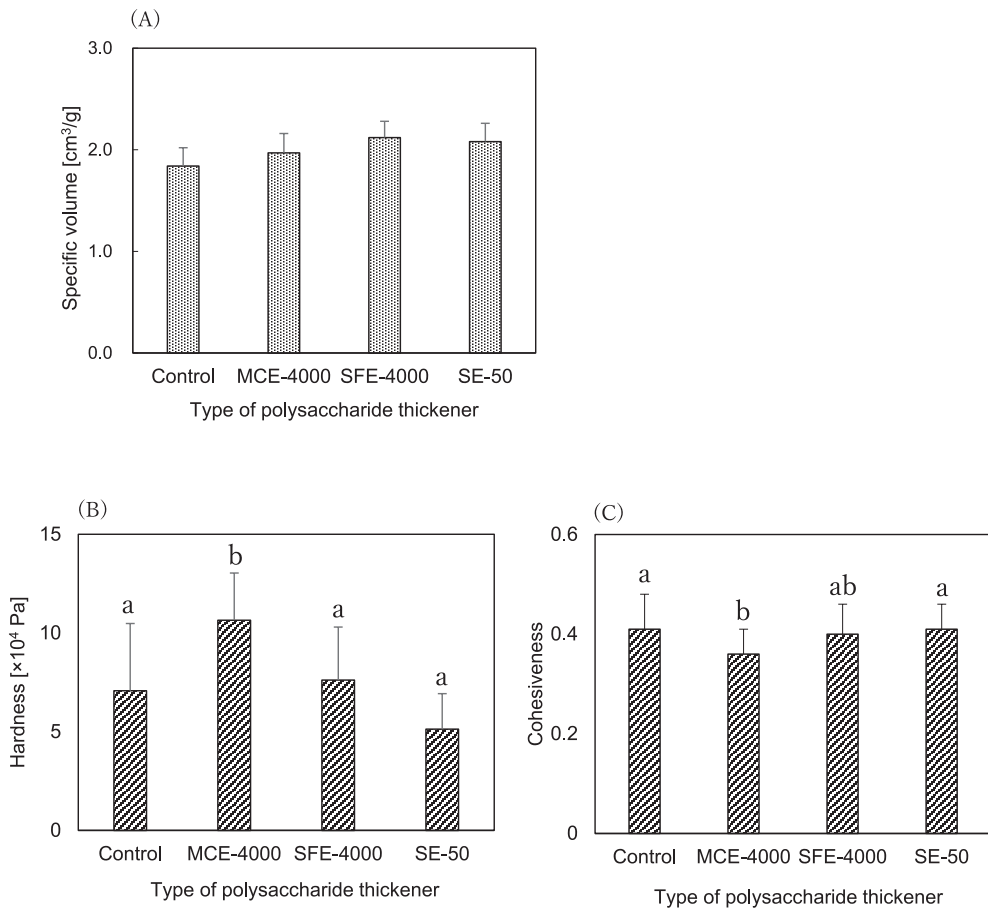


Fig. 3 Effect of thickener on texture and mechanical properties of bread

Each value represents the means  $\pm$  S.D. (specific volume:  $n = 4-5$ , texture:  $n = 15-19$ ).

ab: Means without a common letter are significantly different ( $p < 0.05$ ).

さが1.5～2.0 cm減少した。クラムの気泡は、MCE-4000は他と比較すると整っており密な状態だった。比容積、かたさ、凝集性の結果をFig. 3 (A) (B) (C) に示した。

増粘剤を添加したパンは、比容積の値はわずかに増加した (Fig. 3A)。しかし、どの増粘剤を添加した場合もコントロールと比べて有意差は認められなかった。MCE-4000を添加すると硬さは増加し (Fig. 3B)、凝集性は低下した (Fig. 3C)。コントロールの間には有意差が認められた ( $p < 0.05$ )。これは、パンのクラムが硬くもろくなったことを示し、製パン性は向上しなかった。

#### (5) 増粘多糖類の効果

使用した増粘剤のうち、MCは、セルロースを構成するグルコースの分子骨格に最大で3つのメチル基で置換したものであり、その部分が疎水結合をおこして強いゲルを形成する<sup>15)</sup>。本研究では、ケービングを起こさなかったのは、MCE-4000 (MC) を添加した場合のみだった。発酵終了後は高さを維持できていたが、焼成中にそれを維持できず、高さは減少した。

良く膨れたパンができる過程として、①炭酸ガスの気泡によってパン生地が良く膨れること、②そのパン生地を焼き上げた時、膨れた状態のままでパンの組織が固定されることの2つが挙げられる。①の

ステップはパン生地中のグルテン・タンパク質が主役であり、②のステップは澱粉が主役となる。また、澱粉粒はコンクリートにおける砂利に相当するといえる<sup>16)</sup>。つまり、膨れたパンを固定し膨らみを維持する働きを担っている。キヌア粉の澱粉含量は、小麦粉の66.5%<sup>17)</sup>とは大きく変わらないが、グルテンフリー素材として幅広く利用される米粉の74.2%<sup>17)</sup>と比較すると少ない。キヌアはグルテンを構成するタンパク質を含まないため、本来はグルテンが構築するパンの骨格を、増粘剤で構築している。しかしそのパン組織を支えるためには、澱粉が必要である。パン全体の高さが減少したのは、澱粉含量の少なさが要因の1つだと考えられた。

一方で、HPMCはメトキシ基とともにヒドロキシプロピル基で置換するため競合し、メトキシ基の3置換部分が少なくなり、疎水和の部分が減る。また、ヒドロキシプロピル基は水和を維持しようとするため、置換度が増加すると軟らかいゲルを形成するといわれている<sup>18)</sup>。そのため、SFE-4000を添加したパンは発酵によって生じた気泡を維持する力が弱く、軟らかい分、発酵時は良く伸びて膨化するものの、最終的にはケービングを起こしたものと考えられた。

#### (6) 製パン性と糊化特性値、動的粘弾性の関係性

糊化特性値と製パン性の指標として比容積、テクスチャー特性値のかたさ、また、動的粘弾性と各製パン性の指標との関係性を検討したが、糊化特性値との間には関係性が認められなかった。

香田ら<sup>19)</sup>は、製パン性に適した生地であるかどうかを判断する簡単な方法として、昇温時の貯蔵弾性率の変化を測定することを挙げている。指標の1つは、初期の貯蔵弾性率（以下 $G'_0$ ）である。 $G'_0$ は、生地の硬さを示している。そこで、 $G'_0$ と、 $G'$ の最大値、 $G''$ の最大値と、製パン性の指標として比容積、テクスチャー特性値のかたさについて関係性を検討した。 $G'_0$ は、温度依存性測定の初期、20℃における $G'$ の値を用いた。その結果、有意な相関は認められなかった。

筆者の考えるパンの成立とは、ケービングを起こさず、クラムが気泡構造を維持している状態である。本研究でパンとして成り立ったのはMCE-4000を添加した場合のみであった。今後は、MCE-4000添加パンを中心に、さらに膨らみを増加させていきたいと考えている。粉の澱粉含量に着目し、キヌア粉の一部を澱粉で置換してパンを調製し、製パン性の検討を進めていきたい。

終わりに、研究の遂行にあたり試料のご提供や実験の実施に多大なご協力を賜りました、信越化学工業株式会社様、同合成技術研究所 新延信吾様に厚く御礼申し上げます。

本研究の一部は、公益財団法人すかいらくフードサイエンス研究所の助成を受けたものです。ここに謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 井上直人, 倉内伸幸 (2010), 雑穀入門, 日本食糧新聞社, 東京, pp.47-48
- 2) 真鍋久 (2005), 雑穀ブームの背景を探る, 日本調理科学会誌, 38, 440-445
- 3) 総務省統計局, 家計調査 (家計収支編) 時系列データ (総世帯・単身世帯), 1. 品目分類: 支出金額・名目増減率・実質増減率 (年),  
<http://www.stat.go.jp/data/kakei/longtime/soutan.html#time> (閲覧年月日: 2020.3.28)
- 4) 藤井恵子, 舟木愛美, 辻美智子 (2017), ハトムギ粉を主原料としたグルテンフリーパンの調理特性, 食生活研究, 37, 1-11
- 5) Akin, P. A. and Miller, R. A. (2017), Starch-hydrocolloid interaction in chemically leavened gluten-



- free sorghum bread, *Cereal Chem.* 94, 897-902
- 6) 土屋京子 (2017), ホワイトソルガム粉のパン品質に対する添加水分の影響の違い, *New Food Industry*, 59, 29-37
- 7) Velazquez, N., Sanchez, H., Osella, C. and Santiago, L. G. (2012), Using white sorghum flour for gluten-free breadmaking, *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 63, 491-497
- 8) Buresova, I., Tokar, M., Marecek, J., Hrivna, L., Famrea, O. and Sottnikova, V. (2017), The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread, *Journal of Cereal Science*, 75, 158-164
- 9) Morita, N., Kang, W., Hamazu, Z. and Sugimoto, Y. (1999), Effect of amaranth flour on some properties of wheat dough and bread, *Journal of Applied Glycoscience*, 46, 23-30
- 10) Sanz-penella, J. m., Wrokwoska, M., Soral-smietana, M. and Hapos, M. (2013), Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value, *LWT -Food Science and Technology*, 50, 679-685
- 11) 土屋京子 (2019), ホワイトソルガム粉パンにおける米粉配合の効果について, 東京家政大学研究紀要 2 自然科学, 59, 1-7
- 12) 石井和美, 早川あつ美, 藤井恵子 (2018), 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, 89-96
- 13) 松元文子, 吉松藤子 (1997), 四訂調理実験, 柴田書店, 東京, pp.136-137
- 14) 香川明夫監修 (2019), 七訂 食品成分表 本表編, 女子栄養大学出版部, 東京
- 15) 早川和久 (2014), 水溶性セルロース誘導体, 繊維学会誌, 70, 452-457
- 16) 田中康夫, 松本博編 (2008), 製パンプロセスの科学, 光琳, 東京, 55-56
- 17) 香川明夫監修 (2019), 七訂 食品成分表 2019 資料編, 女子栄養大学出版部, 東京
- 18) 四方俊幸 (2015), 多糖類の水和挙動, *Cellulose communications*, 22, 125-130,
- 19) 香田智則, 西岡昭博 (2017), グルテンを含まない米粉パンの製造技術, 日本調理科学会誌, 50, 1-5