

トレハロースと凍結乾燥アナアオサ粉の置換が米粉パンの 力学的物性変化に及ぼす影響

小出 あつみ・間宮 貴代子・松本 貴志子・阪野 朋子・山内 知子

Effects of Replacement with Trehalose and Freeze-dried *Ulva pertusa* Powder on Textural Changes in Rice Flour Bread

Atsumi KOIDE, Kiyoko MAMIYA, Kishiko MATSUMOTO,
Tomoko BANNO and Tomoko YAMAUCHI

緒 言

戦後の米消費量の減少は、主食としての飯がパンやパスタなどの小麦粉製品に代わったことが要因の一つと考えられる。農林水産省は米の消費拡大を図り、1989年から「新形質米」プロジェクト研究を実施した。さらに米粉の消費拡大を目的に、平成16年から米粉パンを学校給食に導入した。米粉パン導入の翌年に報告された康ら¹⁾の調査では、日本の学校給食におけるパンの出現率(46.4%)がご飯(37.6%)より高かったと述べている。さらに、平成26年2月に公表された食料需給表(平成24年度版)の米粉用米の生産量では、平成20年度の1,000トンから平成24年度には33,000トンに増加している²⁾。これらの報告や数字から、米粉パンの普及が進んでいることが推察される。

米粉パンの美味しさの要因の一つに、モチモチとした食感がある。この食感は米デンプンに由来するものであるが、「米から作ったパンは、焼いてすぐ硬くなり、澱粉の β -化が起こって、バサつき感があり風味に乏しいパンになるという欠点³⁾」がある。山口ら⁴⁾も「米粉パンは小麦パンと比較すると水分含有率が高いため、硬化の進行が早く、作り立ての食感を保つことは難しい」と述べている。米粉パンの不味の要因として、デンプンの老化によるテクスチャー変化の影響は大きく、この変化はデンプンの老化の進行に伴い顕著になる。デンプンの老化抑制方法の一つにトレハロースの利用があり、トレハロースを使用したパンに関する研究報告は多い。トレハロースには食品における機能性作用が多くあり、中でも強力な水和力が食品の乾燥や凍結における食感の保持機能として作用する。トレハロースには水和力以外にも、デンプンの老化抑制作用⁵⁾があり、小麦粉パン⁶⁾や米粉パン⁷⁾において、トレハロースの添加がデンプンの老化を抑制し、食感が良好になると報告されている。

また、筆者らはパンの加工において凍結乾燥アナアオサ粉を置換したパンの報告⁸⁻¹⁰⁾をしている。さらに凍結乾燥アナアオサ粉を中力小麦粉と一部置換したうどん麵に関する報告¹¹⁾では、マグネシウム量、ビタミンC量、DPPHラジカル補足活性能およびポリフェノール量が凍結乾燥アナアオサ粉置換量増加に伴い増加することを確認している。アナアオサは1970年代頃から大発生して、腐敗臭などが問題となっている海藻であるが、最近では「アナアオサの有効利用の検討」が話題となっており、吉村ら¹²⁾はアオサがポリ(乳酸)(PLA)の原料として使用できないかを試みている。食品においてもアナアオサ独自の機能性成分や栄養、力学物性

などの特性を生かした食品開発が期待されている¹³⁾。

本研究では、機能性作用を有する美味しい米粉パンの開発を目的に、米粉パンの品質向上効果が報告されているトレハロースを穀粉量の1%と置換した部分置換米粉パンと栄養成分に機能性作用が期待できる凍結乾燥アナアオサ粉を1%置換した部分置換米粉パンを無置換の部分置換米粉パンと比較して、焼成当日および貯蔵4日間における力学的物性変化を中心に検討した。

方 法

1. 材料

小麦粉は市販の強力小麦粉であるカメラヤ(日清フーズ(株)製)を使用した。ドライイーストは日清フーズ(株)製のスーパーカメラヤドライイースト、バターは雪印メグミルク(株)製の雪印北海道バター食塩不使用、スキムミルクは同じく雪印メグミルク(株)製の北海道スキムミルク、砂糖は伊藤忠製糖(株)製の上白糖、食塩は(財)塩事業センター製の国産塩、水はコプロ(株)製のナチュラルミネラルウォーター(4℃, pH7.3)およびトレハロース(製造元: (株)林原)を使用した。置換した米粉は、福島県産のやや低アミロース米のミルクキークイーンを粉碎機(旭産業製, 旭式高速度粉碎機)で平均粒子径300 μ mに粉碎したものをを使用した。

2. 凍結乾燥アナアオサ粉の調製

アナアオサは、愛知県三河湾で採取したものを水産試験場より入手した。採取したアナアオサは付着した砂と塩分を洗い流した後、-80℃で凍結後、乾燥機(FREEZE DRYER FDU-830, EYELA)で24時間乾燥させ、フードミル(IFM-800DG, 岩永産業(株))で粉碎して、250 μ mのふるいに通した物を凍結乾燥アナアオサ粉(以後、アオサ粉)とした。

3. 製パン法、貯蔵法および試料の調製

製パンに使用したホームベーカリーの取り扱い説明書に記載されている食パンの配合や、一般に使用されている料理本^{14, 15)}と小河ら¹⁶⁾の報告を参考にして、予備実験を行ってパンの材料配合を決定した。対照試料とした無置換米粉パン(以後Conと略記)、トレハロースを対粉1%置換した米粉パン(以後Treと略記)およびアオサ粉を対粉1%置換した米粉パン(以後Aosと略記)の材料配合を表1に示した。

パンの焼成にはホームベーカリー(National, SD-BM151)を使用した。製パンの設定条件は「早焼き」で、焼き色は「標準」である。製パン工程は、前練り20分→ドライイースト投入→後練り4分→発酵30~35℃で6分→練り4分→発酵30~35℃で15分→ガス抜き1分→成型発酵30~35℃で35分→焼き上げ170℃で35分であり、所要時間は2時間である。焼成した米粉パンは直ちに中心温度を測定後、中心温度が室温(平均25.1℃)になるまで放冷して、重量と高さを

表1 米粉パンの材料と配合

材料 (g)	Con	Tre	Aos
強力小麦粉	280	276	276
米粉	120	120	120
無塩バター	15	15	15
砂糖	24	24	24
スキムミルク	10	10	10
塩	7	7	7
インスタント ドライイースト	4.6	4.6	4.6
水(4℃・pH7.3)	300	300	300
トレハロース	0	4	0
凍結乾燥アオサ粉	0	0	4
合計量	760.6		

・Conは無置換米粉パンを、Treはトレハロースを対粉1%置換した米粉パンを、Aosは凍結乾燥アオサ粉を対粉1%置換した米粉パンを示す。

測定した。

米粉パンの貯蔵はクラストをつけた状態で垂直に1.5cm厚さに切り、これをポリエチレン袋に密閉した。この試料を恒温恒湿室（SANYO, MTH-110HP）に入れて20℃、85%RHの条件で4日間貯蔵した。貯蔵期間を4日間としたのは5日目にカビが発生したためである。焼成当日と各貯蔵後のパンは、パンのクラスト部分を約8mm厚さで切除してクラムとし、色調およびテクスチャー測定用に2cm×2cm×1.5cm（高さ）に調製した。

4. 色調測定

3種類の米粉パンの色調は、色差計（KONICA MINOLTA, SPECTROPHOTOMETER）を使用してL*値（明度）、a*値（赤み）およびb*値（黄色み）をパンの焼成日および貯蔵4日間について測定した。

5. テクスチャー測定

3種類の米粉パンのテクスチャーの測定は、クリープメータ物性試験システム（YAMADEN, RHEONERII CREEP METER RE2-3305B）を使用して、硬さ荷重、凝集性、付着性を測定した。測定条件は歪み率（最大ひずみ率）が試料の高さの50%、ロードセルの荷重が2×10N、使用したプランジャーは円柱形のNo.6（直径8mm×高さ22mm）である。測定は、パンの焼成日および貯蔵4日間について実施した。

6. 米粉パンの組織構造の観察

調製した米粉パンのクラムを凍結乾燥後、垂直に切断して、中央部分を5mm×5mm×平均厚さ2.5mmの正方体に切断した。切断したクラムを試料台（日新EM(株)SEM 試料台45 Type-EM, 14×7, M4）に丸型カーボンシール（SEM用導電性、φ12mm）で固定させ、イオンコーター（Eiko 1B-3）を用い、20Pa以下の低真空中3～4mAの条件下で5分間金属（Au）コーティングした。作成した試料を走査電子顕微鏡（日立S-4200 Scanning Electron Microscope, SEM）を使用して観察した。観察条件は、加速電圧が15kV、倍率が40倍である。

7. 統計処理

得られたデータの有意差の検定は、統計的有意水準を5%で示した一元配置分散分析を行い、Tukey法による多重比較検定で行った。

結 果

1. 米粉パンの中心温度、高さおよび重量

米粉パンの中心温度、高さおよび重量を表2に示した。中心温度ではTreはConより有意（ $p<0.05$ ）に低く、さらにAosがConとTreより有意（ $p<0.05$ ）に低かった。高さと重量に有意差はなかった。

2. 米粉パンの経時的色調変化

米粉パンの経時的色調変化を図1に示した。明度を示すL*値では、焼成日を含む5日間で、AosがConとTreより有意（ $p<0.05$ ）に値が低かった。ConとTreは類似した傾向を示したが、貯蔵1日目と3日目でTreがConより有意（ $p<0.05$ ）に低い値を示した。赤みを示すa*の値は、マイナスの値を示したので米粉パンは3種類とも緑色を呈した。焼成日を含む5日間で、AosがConとTreより有意（ $p<0.05$ ）に値が低かった。ConとTreは類似した傾向を示したが、焼成日と貯蔵2日目でTreがConより有意（ $p<0.05$ ）に高い値を示した。さらにTreの-a*値は

表2 米粉パンの中心温度・高さ・重量

	中心温度(°C) (%) ¹⁾	高さ(cm) (%) ¹⁾	重量 (g) (%) ¹⁾
Con	98.45 ± 0.16(100) ^a	14.13 ± 0.04(100)	687.13 ± 1.53(100)
Tre	97.50 ± 0.21(99) ^b	13.89 ± 0.84(98)	n.s. 687.07 ± 2.53(100) n.s.
Aos	96.70 ± 0.11(98) ^c	13.56 ± 0.29(96)	685.99 ± 0.05(100)

(mean ± SD, n=10, p<0.05)

・ Conは無置換米粉パンを, Treはトレハロースを対粉1%置換した米粉パンを, Aosは凍結乾燥アオサ粉を対粉1%置換した米粉パンを示す.

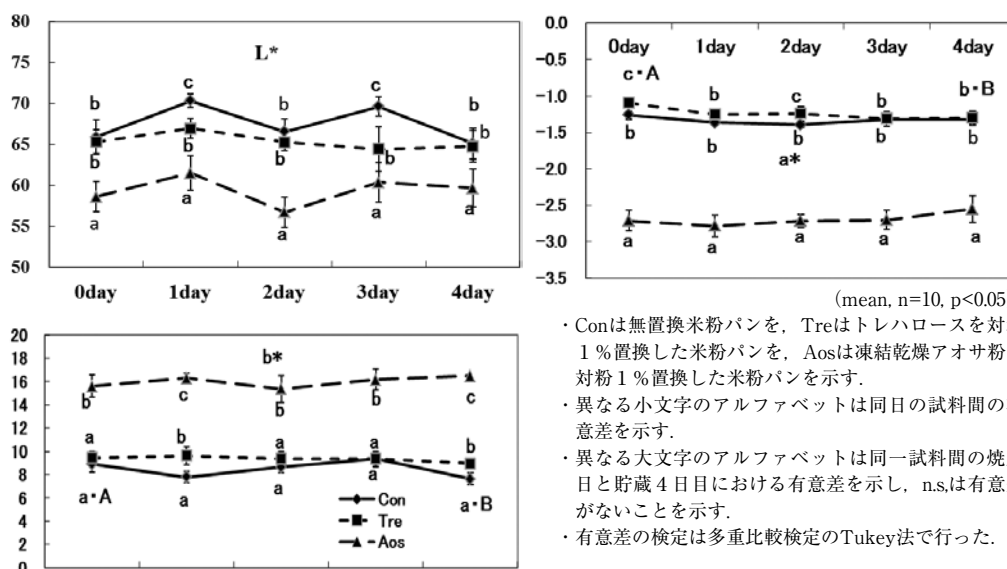
¹⁾ Conの値を100%とした時の各試料の値をパーセントで示す.

・ 有意差の検定は多重比較検定のTukey法で行った.

・ 異なる小文字のアルファベットは有意差を示し, n.s.は有意差がないことを示す.

貯蔵4日目で焼成日より有意 ($p<0.05$) に低下した. 黄色を示すb*値では, 焼成日を含む5日間で, AosがConとTreより有意 ($p<0.05$) に値が高かった. ConとTreは類似した傾向を示したが, 貯蔵1日目と4日目でTreがConより有意 ($p<0.05$) に値が高かった.

以上の結果から, Aosはアオサ粉の色素成分であるクロロフィルの影響を受け, クラムが濃い緑色を呈したため, 明度が低く緑色と黄色が濃い色調となった. TreはConと類似した傾向を示したが, L*値とb*値でTreの色調の経時的変化が最も小さかった.



(mean, n=10, p<0.05)

・ Conは無置換米粉パンを, Treはトレハロースを対粉1%置換した米粉パンを, Aosは凍結乾燥アオサ粉を対粉1%置換した米粉パンを示す.

・ 異なる小文字のアルファベットは同日の試料間の有意差を示す.

・ 異なる大文字のアルファベットは同一試料間の焼成日と貯蔵4日目における有意差を示し, n.s.は有意差がないことを示す.

・ 有意差の検定は多重比較検定のTukey法で行った.

図1 米粉パンの経時的色調変化

3. 米粉パンの経時的テクスチャー変化

米粉パンの経時的テクスチャー変化を図2に示した. 付着性は, 米粉パンの焼成日のTreとAosのみに認められた. 付着性のTreとAos間に有意差はなかったが, TreはAosより付着性が強かった. パンの老化の指標とされる硬さ荷重では, 焼成日にTreとAosがConより有意 ($p<0.05$) に硬かったが, 貯蔵1日目でTreとConの間に有意差がなくなり, 2日目には3種類の米粉パンの間に有意差はなかった. しかし, 3日目にはAosがTreより有意 ($p<0.05$) に

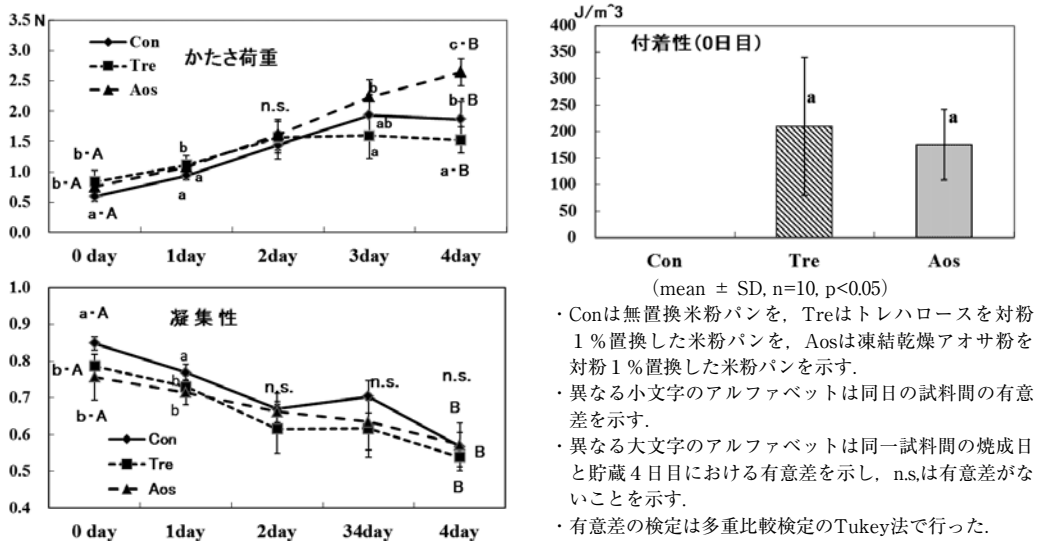


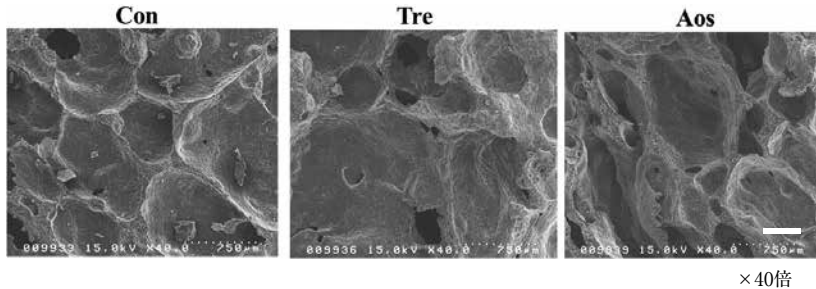
図2 米粉パンの経時的テクスチャー変化

硬くなり、4日目では3種類の米粉パンの値の差が大きくなり、AosがConより有意 ($p<0.05$) に硬く、TreがConより有意 ($p<0.05$) に軟らかかった。凝集性では、3種類の米粉パンは焼成日より貯蔵4日目まで有意 ($p<0.05$) に低かった。焼成日と貯蔵1日目では、TreとAosがConより有意 ($p<0.05$) に値が低かったが、貯蔵3日目以降では3種類の米粉パンの間に有意差はなかった。

以上の結果から、3種類の米粉パンは経時的に有意 ($p<0.05$) に硬くなり、凝集性が弱くなった。しかし、貯蔵における硬さの変化は3種類の米粉パンで異なり、Conの硬さ荷重値が貯蔵3日目まで上昇し、その後ほとんど変化しなかったのに対し、Aosの値は貯蔵4日目まで、貯蔵日数に伴いほぼ正比例に上昇した。一方、Treの値はConより1日早い貯蔵2日目から上昇しなかった。

4. 米粉パンの組織構造の観察

米粉パンの組織構造を40倍で観察した写真を図3に示した。写真観察から、方向性のある楕



- ・ Conは無置換米粉パンを、Treはトレハロースを対粉1%と置換した米粉パンを、Aosは凍結乾燥アオサ粉を対粉1%と置換した米粉パンを示す。
- ・ 試料のパンは焼成当日のパンのクラムである。
- ・ 白いバーの長さは3.75mmを示す。

図3 米粉パンのクラムの組織構造

円形の気孔を形成しているConに比べて、TreとAosでは気孔の大きさが不均一で、気孔壁が厚く、特にAosの気孔壁が厚かった。

考 察

1. 米粉パンの膨化および中心温度とその要因

米粉パンの膨化では、3種類の米粉パンは同じホームベーカリーの型を使用して焼成しているので、パンの高さは膨化の程度を示している。予備実験では、米粉置換量を対粉10%刻みで10~50%置換した米粉パンを調製したが、置換量の増加に伴い膨化率が減少した。この結果と小河ら¹⁶⁾の報告を参考にして、添加するドライイースト量を強力小麦粉100gに対して1g、米粉100gに対して1.5gとして添加した時、米粉を30%まで置換したパンで小麦粉パンと有意差のない高さ(膨化)を得た。そのため米粉30%部分置換パンを本研究の米粉パンとした。米粉パンにおけるトレハロースの置換量では、対米パン用米粉10%量を砂糖と置換している資料¹⁷⁾がある。本研究の米粉パンに同様のトレハロースの置換を行うと、クラムがベタベタとしたテクスチャーとなり、Conのテクチャーと著しく異なった。参考とした米粉パンのパン用米粉はグルテンを添加した粒度が30~70 μm の微細粒粉である。これに対して本研究の米粉は、やや低アミロース米のミルキークイーンを300 μm に粉碎したものであった。これらの相違から、トレハロースを使用した米粉パンでは、米の種類、米粉の粒度およびグルテン添加の有無の違いが米粉パンのテクスチャーに影響することが示された。そのため、本研究の米粉パンではトレハロースの置換量を減少させていき、対粉1%の置換量でConと類似したテクスチャーを得たので、置換量を対粉1%とした。また、置換する材料を砂糖ではなく強力小麦粉としたのは、ドライイースト4gに対して最低3gの砂糖を加えないと酵母が発酵しない¹⁷⁾ため、イーストの発酵に影響がなく、水以外の材料で最も使用量が多い強力小麦粉と置換した。アオサ粉の置換量は、Treと比較するために同量とした。また、対粉1%のアオサ粉を強力小麦粉と置換してもAosの膨化に影響しなかった。

3種類の米粉パンの中心温度の差は小さかったが、試料間に有意差があった。その要因として、パンの気孔壁中の含水量および組織構造状態の違いが考えられた。クラムの組織は、「製パン性の良いものほど気孔壁が薄く伸展し、気泡の大きさが細かく均一で、気泡の形が楕円方向がある¹⁸⁾」。パンの組織構造では、「パンの気孔壁はグルテンの微細網目(以後、グルテン網目と略記)上にデンプン粒を含むデンプンゲルで構成される外装を張り付けた構造¹⁹⁾」である。Treでは水和性が高い⁵⁾トレハロースの置換によって、グルテン網目上のデンプンゲル中の水分含量が多くなり、Conより低い中心温度を示したと推察された。Aosに使用したアオサ粉の主成分は多糖類(食物繊維)であり、アオサ粉は凍結乾燥後、粉碎しているため吸水率は高い。したがって、Aosでは水分を吸収したアオサ粉がデンプンゲルと混合して層を作りグルテン網目に厚く密着してConとTreより水分含量の多い厚いゲル層になったため、中心温度がConとTreより有意($p<0.05$)に低かったと考えられた。米粉パンの組織構造(図3)で、TreがConより、さらにAosがConとTreより気孔壁が厚かったことは中心温度の結果と矛盾しない。

2. 米粉パンの経時的色調変化とその要因

米粉パンの色調変化ではL*値、a*値およびb*値に顕著な変化を認めなかったが、Aosはク

ロロフィル由来の緑色を示した。この結果から、アオサ粉を調製する時の凍結乾燥およびパンの焼成時における温度変化が、アオサ粉中のクロロフィルの色調変化に与える影響は小さかった。また、Aosの4日間の貯蔵における色調変化では有意な変化がなく、貯蔵時のクロロフィルの色調が安定していることが示された。

Treに置換したトレハロースでは、砂糖との置換が米粉パンの色調を白くすることが報告されている^{7, 20)}。これはトレハロースの構造がグルコース二分子による $\alpha-1, 1$ 結合の非還元糖であるためアミノカルボニル反応を起こさないことによる。本研究の米粉パンでは、砂糖と置換していないので、Treのクラムの色調はConより白くなく、Conと比較して若干の明度の低さと緑色の薄さおよび黄色身の濃さを示した。また、TreのL*値とa*値における色調の経時的变化が、3種類の米粉パンの中で最も小さかったので、トレハロースの置換に色調(L*値とb*値)の経時的变化抑制効果がある可能性が示された。

3. 米粉パンの経時的テクスチャー変化とその要因

長澤ら²¹⁾の報告に見るように、パンの硬さは老化の指標とされる。トレハロースを小麦粉パンに对粉3%、7%および11%添加したパンでは、添加によってパンの硬さが低下したとの報告⁶⁾がある。また、樋口ら²²⁾も「米粉食パンのテクスチャーの硬さ応力が上白糖とトレハロースの原料配合量を増加すると減少し、凝集性は殆ど変化しない」と報告している。樋口らが調製した米粉食パンはグァーガムを使用したもので、最適配合とした時のトレハロース量は米粉の10%である。本研究の米粉パンに使用したトレハロースは対粉1%の置換であり、この置換量においては焼成日のTreをConより軟化させる効果はなかった。したがって、対粉1%のトレハロース置換では、焼成時の米粉パンの硬さに影響を与えないことが示唆された。また、太田ら⁷⁾が米粉パンの物性をレオメーターで測定した焼成日の結果では、砂糖とトレハロースを6%置換した米粉パンの弾性の値が、トレハロース無置換パンとほぼ同じ値であったが、貯蔵2日と3日目で米粉パンの弾性の値が無置換米粉パンより低い傾向を示している。本研究でも貯蔵2日目以降でトレハロース置換による米粉パンの硬化抑制効果が示された。これらの結果から、トレハロースの米粉パンへの置換では、置換量に関係なく硬化抑制効果が発現するのは貯蔵2~3日頃ではないかと推察された。本研究のトレハロース置換による米粉パンの硬化抑制効果の要因として、トレハロースの水和力により米パンの貯蔵中の水分含有率の低下が少ない⁴⁾ことが考えられた。Aosでは貯蔵日数に伴いパンの硬さ荷重値が、ほぼ正比例に上昇したが、この要因として3種類の米粉パンの中で最も厚い気孔壁(図3)であるデンブengel中の水分が、経時的に減少して硬くなり、さらにConの貯蔵3日目以降のかたさ荷重値が上昇しなかったのに対して、Aosでは貯蔵3日目以降も値が上昇したので、アオサ粉の置換が米粉パンの貯蔵における硬化を促進することを認めた。しかし、貯蔵2日目までは3種類の米粉パンの硬さに有意差がなかったので、機能性成分を含むAosをおいしく食べるには焼成後2日以内に食べると良いことが明らかになった。今後は、アオサ粉とトレハロースの両者を共に置換した機能性作用を有する美味しいAosについて検討したい。

謝 辞

アナオサの入手および組織構造の観察で、ご協力頂きました愛知学泉短期大学の山本淳子先生に深く感謝いたします。

要 約

本研究では、トレハロースを対粉1%置換した米粉パン (Tre) と凍結乾燥アナアオサ粉を1%置換した米粉パン (Aos) を無置換米粉パン (Con) と比較して貯蔵4日間における力学変化を中心に検討した。Aosの4日間の貯蔵における色調変化では、クロロフィルに由来する色調は安定していた。トレハロースの米粉パンへの置換に、色調 (L^* 値と b^* 値) の経時的変化抑制効果があると推察された。本研究の米粉パンにおける対粉1%のトレハロース置換では、焼成時の米粉パンの硬さに影響を与えなかった。トレハロースの置換量に関係なく硬化抑制効果が発現するのは、貯蔵2~3日頃であると推察された。凍結乾燥アナアオサ粉の置換は、米粉パンの貯蔵における硬化を促進した。しかし、貯蔵2日目までは3種類の米粉パンの硬さに有意差がなかったため、機能性成分を含むAosをおいしく食べるには焼成から2日以内に食べると良いことが明らかになった。

引 用 文 献

- 1) 康薔薇, Jung-ae Kang, 山口光枝, 山本由喜子: 日本と韓国の小学校における給食内容の比較, 日本食生活学会誌, **16**, 11-17 (2005)
- 2) 農林水産省: 食料需給表(平成24年度版) 4. 主要項目の品目別累年表, <http://www.e-stat.go.jp> (2014/7/1)
- 3) 八藤真: イオン化分子ミネラル加工学6「ごパン」のすすめ! その1 ライスブレッドの普及で米需要の拡大へ!, 食の科学, **280**, 53-59 (2001)
- 4) 山口智子, 松澤良江, 小谷スミ子: 米粉パンの保存中のテクスチャー変化に対するトレハロースの影響, 日本家政学会大会研究発表要旨集, **62**, p.52 (2010)
- 5) 西田毅弘: 機能性糖質の近況トレハロースの食品での機能と生理作用, ジャパンフードサイエンス, **49**, 49-56 (2010)
- 6) ZOUJia-Chan, PENG Ya-Feng, Xu Nan: Effect of Trehalose on Fresh Bread and Bread Staling, Cereal Foods World, **52**, 313-316 (2007)
- 7) 太田義男, 三宅教子, 入江亜希子, 小川靖代, 金居千尋, 立尾未来: トレハロースによる米粉パンの老化抑制効果, 中国学園紀要, **10**, 245-249 (2011)
- 8) 山内知子, 山本淳子, 小出あつみ, 間宮貴代子, 松本貴志子: アナアオサの添加量が製パンの機能性に及ぼす効果, 日本調理科学会東海・北陸, 近畿支部合同研究発表講演要旨集, p.25 (2012)
- 9) 山内知子, 小出あつみ, 山本淳子, 松本貴志子, 間宮貴代子, 阪野朋子: アナアオサ添加量がパンの物性および嗜好性に及ぼす影響, 一般社団法人日本調理科学会平成24年度大会研究発表要旨集, p.19 (2012)
- 10) 山本淳子, 小出あつみ, 山内知子: アナアオサ添加が食パンの組織構造に及ぼす影響, 一般社団法人日本調理科学会平成24年度大会研究発表要旨集, p.65 (2012)
- 11) 山本淳子, 小出あつみ, 山内知子: うどん麺への凍結乾燥アナアオサ粉置換の影響, 日家政誌, **65**, 429-436 (2014)
- 12) YOSHIMURA, T, MIYAJIMA, K, FUJIOKA, R, アオサ (Ulva ohnoi) のポリ (乳酸) : 添加材の効果, 福岡女子大学国際文理学部・人間環境学部・人間環境学科紀要, **45**, 35-38 (2014)
- 13) 能登谷正浩, “新しい食材になるアオサ。”アオサの利用と環境修復, 初版, 成山堂書店, 東京, pp.137-139 (2001)
- 14) 坂本廣子, 坂本佳奈: 国産米粉でクッキング, 社団法人農山漁村文化協会, 東京, pp.65-68 (2008)
- 15) 吉田育子: 米粉でクッキング&パン作り, (株)素朴社, 東京, pp.54-57 (2005)
- 16) 小河拓也, 田畑広之進, 井上喜正: 米粉の配合がパンの外観及びレオロジー的性質に及ぼす影響, 兵庫農政総七研報 (農業), **51**, 25-28 (2003)
- 17) 株式会社林原食品素材事業部: トレハをパンに使うと, <http://www.hayashibara.co.jp>, (2014/7/1)
- 18) 奥田弘枝, J.G.PONTE Jr.: パンの物理的性状に及ぼす米粉添加の影響 (2), 広島女学院大学論集, **52**, 91-102 (2001)
- 19) 内藤成弘, 深海新二, 溝上泰之, 狩野広美, 石田信昭, 高野博幸: パンの気泡孔隙壁構造を支える微細ゲルテン網のSEMによる観察, 食品工学, **47**, 53-60 (2004)

- 20) 渡辺眞美（編集）：夢の糖トレハロースのガイド⑤トレハロースのご飯・パンへの効果，食品工業，**53**，82-85（2010）
- 21) 長澤幸一，田引正，西尾善太，伊藤美環子，中村和弘，谷口義則，山内宏昭：国産小麦「もち姫」を含む国産小麦パンの製パン性および特徴的物性の解析，日調科誌，**44**，214-222（2011）
- 22) 樋口オ二，小山清人：グァーガムとトレハロースを含む米粉パンの製造方法とテクスチャー，日本食生活学会誌，**21**，298-306（2011）

Abstract

Rice flour bread samples prepared with 1% replacement of the flour with either trehalose (Tre) or freeze-dried *Ulva pertusa* powder (Aos) were compared with control bread without such replacements (Con) regarding changes in textural properties during 4 days of storage. The chlorophyll-derived color of the Aos remained stable for 4 days. The replacement with trehalose was found to be effective for delaying color changes during storage. The 1% replacement of flour with trehalose did not affect the hardness of rice flour bread immediately after baking. Trehalose, irrespective of the amount used, may exert a protective effect against bread hardening after 2-3 days of storage. The replacement with freeze-dried *Ulva pertusa* powder accelerated the hardening of rice flour bread during storage. Considering the fact that there were no significant differences in hardness among the three types of sample at two days of storage, it is recommended to consume the Aos, which contains functional ingredients, within two days after baking to enjoy its optimal texture.

