

炊飯米(もち米)の添加がパンの物理特性に及ぼす影響

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2014-07-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 村上, 陽子 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00007858

炊飯米（もち米）の添加がパンの物理特性に及ぼす影響

Effects of Cooked Glutinous Rice on the Physical Properties of Making Wheat Flour Bread

村 上 陽 子

Yoko MURAKAMI

（平成 25 年 10 月 3 日受理）

Summary

The effect of adding cooked glutinous rice to wheat flour bread was examined by measuring its physical properties. Six kinds of bread were prepared: four kinds of bread containing 10 - 40% cooked glutinous rice, non-glutinous rice flour bread, and wheat flour bread. The following results were obtained.

The specific loaf volume of the bread containing 20% cooked glutinous rice was higher than that of the wheat flour bread, while the rice flour bread had a lower specific volume than the wheat flour bread. The hardness of the wheat flour bread was the lowest. When the proportion of cooked glutinous rice added to the bread increased, hardness increased as well. The cohesiveness of the bread containing cooked glutinous rice was lower than that of the wheat flour bread. The adhesiveness of the bread containing 40% cooked glutinous rice was 3.8 times that of the wheat flour bread.

1. 緒言

米は現在の日本において唯一自給可能な穀物資源である。しかし、国内米飯用需要は低下の一途をたどっており、米の新しい利用の形が模索されている。農林水産省では、小麦の代替として主食となるパンや麺等に米粉を使用することを推進しており、小麦粉分野への米粉の利用拡大を目的として米粉の製パン性に関する研究も数多く行われている¹⁾⁻⁶⁾。これにより、食料自給率の向上に一役を担うことが期待されている。

しかし、米粉パン用の米粉には、特別な製粉技術が必要である。ロール粉砕法、胴搗粉砕法など従来の粉砕技術で製造された米粉を用いたパンは膨らみが悪く、製パン性が低いため、米粉パン用米粉の粉砕技術として、二段階製粉法⁷⁾や酵素処理製粉法⁸⁾が新たに開発されている⁹⁾。いずれもデンプンの損傷が少なく、小麦粉レベルの微細な米粉になるという利点があるが、これらの製粉方法には高価な設備と多大なコストと手間を要し、家庭や学校では加工が難しいという欠点を有する。そのため、一般の家庭で米粉パンを作る際には、米粉パン用の米粉を別途

購入しなければならず、手軽に米粉パンを作ることは容易ではない。加えて、米にはグルテンが含まれていないため、パンの材料として利用する場合には、米の置換率は低いままにしておくか¹⁰⁾⁻¹⁴⁾、あるいはグルテン^{9) 15) 16)}や増粘多糖¹⁷⁾⁻²¹⁾の添加で膨化性を補完する必要がある²²⁾。つまり、これらの添加剤なしには、品質のよい米粉パンをつくることは困難であり、且つ、小麦粉パン（小麦粉100%のパン）より品質的に優れているという報告は少ない²³⁾。

そこで本研究では、パンの材料としてもち米の炊飯米に着目した。米は炊飯されることで水分を含み、硬さや粘り、食味の面で向上する。また、製パン性の劣化の一因とされる製粉過程でのデンプン損傷を回避することが可能である。米を用いたパンの研究について米の形状についてみると、その多くが粉末状（米粉）であり、粒状の米、すなわち、炊飯した米、特にもち米を添加したパンの物理特性についてはほとんど報告が行われていない。うるち米の炊飯米を用いたパンの食味のよさについては奥西²²⁾が報告しているが、本研究で用いるもち米とは品種や構成成分が異なる。米粉パンにおいては、米の品種間の差によりパンの物理特性に相違が生じることが報告されている^{9) 16) 24) 25)}ことから、米飯パンにおいても同様に、米の品種によって製パン性や食味に相違があると考えられる。また、奥西²²⁾は、副材料として油脂を添加している（小麦粉重量に対して4%）。油脂はパン組織の改善や膨張力の向上、風味の付与など製パン性や食味に影響を与える^{26) 27)}ことが知られていることから、米飯添加による効果を十分に検討しているとはいえない。

米の構成成分（デンプン組成など）に注目すると、米粉パンについては多くの報告があるが、その大半がうるち米の米粉を用いており、もち米の米粉についての報告は少ない²⁸⁾⁻³⁰⁾。うるち米粉を添加したパンに関する研究においては、アミロース量とデンプンの糊化特性³¹⁾、粒度と損傷デンプンの含量^{9) 11) 12)}や添加米粉の処理法^{1) 15) 32) 33)}、および米粉の品種^{16) 24) 25)}などがパン製品の性状に影響を及ぼすことが明らかにされている。また、うるち米の米粉を用いたパン製造においては、米粉を糊化させて粘性をもたせる方法もある^{34) 35)}。もち米は、うるち米とはデンプンの性質が異なり、アミロペクチンのみで構成されているため、うるち米より粘度が大きく、糊化することにより粘着性と弾性を示す。このことから、炊飯したもち米をパン材料に用いることで良好な製パン性を示すと予想される。加えて、デンプンゲルの老化の初期過程はアミロースのゲル化によって起こることが動的粘弾性測定により示されている^{36) 37)}ことから、もち米を用いたパンには老化しにくいという特徴も有する可能性を示す。

もち米を粉体としてパンに用いた研究として、奥田ら²⁸⁾は低濃度（10%）のもち米粉の添加により良好な製パン性が得られ、モチモチ感とより香ばしい風味を特徴とするパン作りが可能になるとしている。一方、市川³⁰⁾は、うるち米粉、またはもち粉で調製した米粉パン（25%置換）の比容積に大差はなく、硬さは前者が硬いものの、食感の点からうるち米粉の方がもち米粉より好ましいとしている。もち米粉を用いた製パン性や食味に関して両者の見解は異なるものの、いずれも高置換した場合の製パン性は低いとしている。本研究において、炊飯したもち米（粒状）を添加することにより、パンの物理特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、良好な製パン性を示すパンを得ることが出来れば、もち米、ひいては米の新たな用途拡大にもつながると考えられる。

そこで本研究では、炊飯したもち米を用いたパンの製パン性について検討する。取り扱う米の種類については、精白米（もち米）とし、小麦粉パン、米粉パン、米飯パンの3種類間の比較を行った。また、米飯パンにおける米飯と小麦粉の配合割合についても検討を行った。

表1 各種パンの配合割合

パンの種類	主材料の配合割合 (g)				
	小麦粉	ミックス米粉	炊飯米	蒸留水	
小麦粉パン	250	0	0	180	
米粉パン	0	250	0	180	
米飯パン	10%	225	0	50.0	155.0
	20%	200	0	100.0	130.0
	30%	175	0	150.0	105.0
	40%	150	0	200.0	80.0

各種パンについて、上記材料に加えてドライイースト2.8g、スクロース17.0g、食塩5.0gを添加した。

2. 方法

(1) 米試料および炊飯米の調製

米飯パン用の米として、「きんたもち」（平成23年度静岡県産もち米，白米）を用いた。米は玄米の状態のまま5℃で貯蔵し，実験時に精米機（匠味米MB-RC02SW，山本電気株式会社）を用いて90%精白したもの（精白米）を試料とした。米は蒸留水で5回すすぐように洗い，常温にて30分間吸水させた後，米重量に対して1.2倍の水を加え炊飯した。炊飯は炊飯器（タイガーマイコン炊飯ジャー炊き立てミニJAI-B550 WU，タイガー魔法瓶）のおこわコースで行い，炊飯終了後しゃもじでかき混ぜた後，ボールに移し，常温まで冷ましてから使用した。

(2) パンの調製

食パンは自動ホームベーカリー（SD-BH104-D，松下電器産業）を用いて，中種法にて調製した。小麦粉パン調製時は本機のドライイースト・食パンコース（ねり・ねかし・発酵・焼成の合計時間4時間），米粉パン調製時はごはん／米粉・小麦入りコース（ねり・ねかし・発酵・焼成の合計時間2時間30分），炊飯米使用時はごはん／米粉・ごはんコース（ねり・ねかし・発酵・焼成の合計時間4時間）にて山型食パンを製造した。焼き上がった米飯パンには米粒は全く見られない状態であった。

パンの基本的な配合材料は，ホームベーカリーの基本生地的配合に基づき，強力小麦粉（日清製粉，カメリア）250g，ドライイースト（日清フーズ，スーパードライ）2.8g，スクロース17g，食塩5g，蒸留水180gとした。尚，本稿においてはバターやショートニングなどの油脂は添加しないこととした。その理由として，油脂は，主原料である粉・水・塩・イーストと異なり，製パン材料として必須成分でなく添加物（副材料）の一つと見なされていることが挙げられる^{26) 27) 38)}。一方で，パン製造の面から見ると，油脂はパン内相組織の改良や容積の増大，機械耐性の向上などに寄与するとされており²⁷⁾，パンの物性に影響を与える。また，油脂は小麦粉の周囲を覆い，たんぱく質と水との接触を妨げ，グルテンの形成を阻害する作用を持つ³⁹⁾。そのため，パン生地のようにグルテンがしっかりと形成された生地を作る際には，グルテン形成後に油脂類を添加する必要があるが，本研究で用いたホームベーカリーはすべての材料をはじめに加える必要がある。さらに，油脂類の風味はパンの味や香りに直接反映し，パンの食味の評価に影響を及ぼす^{26) 27)}。油脂を添加しなくても良好な製パン性や嗜好性を示す米飯パンを調製することができれば，低カロリーでよりヘルシーなパンの提供に寄与することが可能となる。以上の理由から，本稿においては油脂を添加せず，パン生地を調製することとした。これ

を基本の生地として、本研究では「小麦粉パン」とした。

基本の生地の小麦粉を市販のグルテン入り米粉パン用ミックス米粉250gで置換して調製したパンを「米粉パン」とした。米粉は「福盛シトギミックス20A」（グリコ栄養食品）を用いた。小麦粉の一部を米飯で置換したパンは「米飯パン」とし、乾物重量換算での置換割合も同時に示した。例えば、基本の材料の強力粉の10%（乾物重量換算で25g）に相当する同量の米（乾物重量で25g）を炊飯した場合、炊飯時の吸水量として25gが加算される。つまり、小麦粉25gを米飯で代替する場合、水の分量は吸水量を引いた155gとなる。実験においては米の炊きあがり重量を毎回測定し、加熱吸水率⁴⁰⁾を計算した後、添加する水分量とその都度調整して添加した。このように、小麦粉10%を米に置換したパンを「米飯10%パン」とし、本稿では「米飯10%パン」、または「10%パン」のように記載した。それぞれの配合割合を表1に示した。

製パン性（比容積、物理特性、色彩構成）に関して得られたデータは、分散分析（Tukey法）により有意差を検討した。

（3）比容積および物理特性

製造したパンは、焼成後、型から取り出し、常温にて1時間放冷し、実験に供した。比容積（体積／重量）は葉種法⁴¹⁾により、パンの見かけの体積を測定し、算出した。パンは厚さ20mmに切り、外皮側2.0cmを除いた内相部（クラム）について縦・横・高さが20×20×20mmになるよう試料片を作成した。パンの物理特性^{42) 43)}は、卓上型物性測定器（TEXTURE PROFILE UNIT TPU-2C, 山電）、円柱状プランジャー（接触面直径6.0mm）を用いて、クリアランス5.0cm、上下移動速度2.5mm/secの条件でかたさ荷重、凝集性、付着性を測定した。測定した結果は、自動解析装置（Model-TA-TPU2, 山電）で転送し解析した。

（4）パンの色彩構成

パンのクラム（内相）とクラスト（外相）の色彩構成は、「色彩色差計CR-400/410」（コニカミノルタ センシング株式会社）を用いて測定した。物体の色を数値や記号で表現する方法を表色系と呼ぶが、本稿においては色調の表色にL*a*b*表色系を用いた。L*a*b*表色系は国際照明委員会（CIE）で規格化され、日本でもJISにおいて採用されている表色系で、明度をL*、色相と彩度を表す色度をa*、b*で表す。a*、b*は色の方向を示しており、a*は赤方向、-a*は緑方向、b*は黄方向、-b*は青方向を示し、絶対値が大きくなるに従い色鮮やかとなり、小さくなるに従いくすんだ色となる。

3. 結果および考察

（1）比容積

調製した6種類のパンの側面部の写真を図1、パンの体積・重量・比容積を図2～図4に示した。一般に、好ましいとされているパンの比容積は4～4.5cm³/g前後である⁴⁴⁾。小麦粉パンは4.24cm³/gと高く、米粉パンは3.47cm³/gとやや低かった（図4）。米飯パンでは10%パン3.93cm³/g、20%パン5.35cm³/g、30%パン3.74cm³/g、40%パン2.86cm³/gであり、米飯の配合割合が高くなると比容積は減少した。40%パンは特に比容積が小さく、パン内部の気泡膜も厚く、密に詰まった内相を呈していた（図1）。

米飯パンの比容積が、米粉パンより増加した理由として、グルテン形成の促進、およびグルテン構造の変化が考えられる。すなわち、予め炊飯することで米は糊化され、これにより米による小麦粉の吸水の妨害がなくなり、小麦粉中の吸水したグリアジンとグルテニンによるグルテンの形成が円滑に行われたこと、さらに焼成により糊化したデンプンがグルテン構造を補強するとともに⁴⁵⁾、粘性の高い米がその粘着性によりミキシング中に伸張・組織化し、グルテンのように気泡を蓄える構造を形成したと考えられる^{23) 46)}。

もち米粉を用いた奥田ら²⁸⁾の結果と比較すると、もち米粉を添加して調製したパン（以下、もち米粉パンと記す）において、比容積はもち米粉無添加 $5.24\text{cm}^3/\text{g}$ 、5%添加 $5.07\text{cm}^3/\text{g}$ 、10%添加 $4.72\text{cm}^3/\text{g}$ 、15%添加 $4.04\text{cm}^3/\text{g}$ 、20%添加 $3.38\text{cm}^3/\text{g}$ であり、15%以上の置換でクラムのすだちの状態は悪化していた。つまり、もち米をパンの材料として用いた場合、比容積は米粉（粉状、 β デンプン）よりも米飯（粒状、 α デンプン）の方が大きく、添加する米の形状や糊化の有無により、製パン性が異なることが示唆された。

米飯の添加量の増加に伴い比容積が減少した理由の一つとして、グルテン含有量が考えられる。通常のパン生地では、小麦粉由来のグルテンにより形成されたセル組織によって CO_2 が気泡として保持される。米飯の配合割合が高いパンはガス保持に必要なグルテン含有量が少ないため、膨化力が低下し、比容積が減少したと考えられる。

また、パン生地の構造については、生地的小麦粉中の水溶性多糖類が生地の安定性に関与することが報告されている⁴⁷⁾ことから、奥田ら²⁸⁾はパンの容積に関与するのは単一の成分によるものではなく、もち米粉を加えることによる生地の構成成分の割合の変化や、成分の相互関

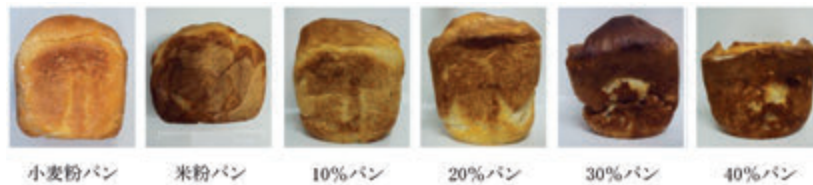


図1 各種パンの側面図

小麦粉パン、米粉パン、米飯パン(10%、20%、30%、40%)の合計6種類のパンについて、側面図を撮影した。

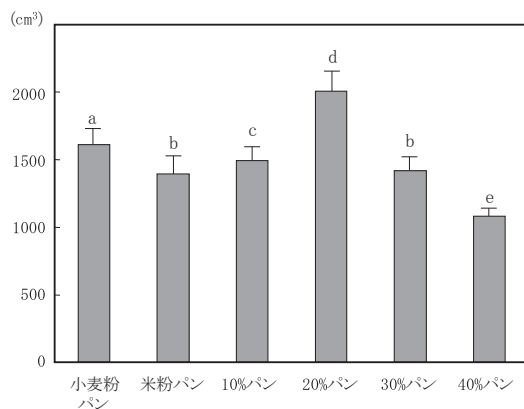


図2 パン生地の体積

小麦粉パン、米粉パン、米飯パン4種類(10%パン、20%パン、30%パン、40%パン)について、体積を測定した。体積は菜種法により測定した。異なるアルファベットは種類間に有意差があることを示し、バーの上に記した($p < 0.01$)。

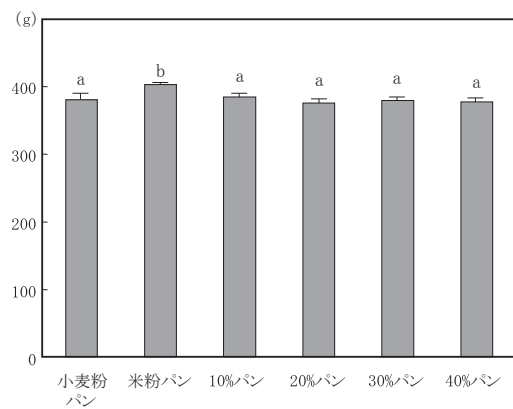


図3 パン生地の重量

小麦粉パン、米粉パン、米飯パン4種類(10%パン、20%パン、30%パン、40%パン)について、重量を測定した。異なるアルファベットは種類間に有意差があることを示し、バーの上に記した($p < 0.01$)。

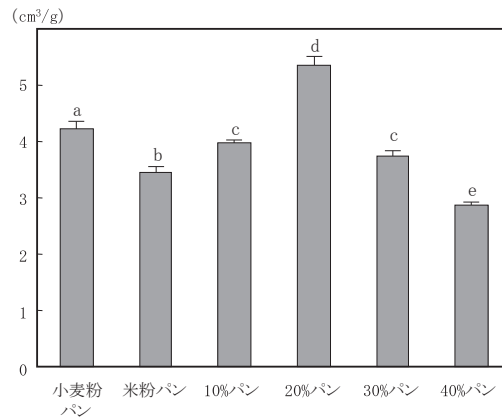


図4 パン生地の比容積

小麦粉パン、米粉パン、米飯パン4種類(10%パン、20%パン、30%パン、40%パン)について、比容積を測定した。比容積は菜種法を用いた。異なるアルファベットは種類間に有意差があることを示し、バーの上に記した($p < 0.01$)。

係など、種々の要因が複雑に組み合わされた結果と推測している。一方、小麦デンプンにはアミロースとアミロペクチンが含まれ、これらのデンプン分子が結晶状に集合してデンプン粒を形成している。ここにアミロペクチン100%から成るもち米デンプンが加わることにより、デンプン粒の構成成分の割合が大きく変化し、製パン性に影響を与えたと推察している²⁸⁾。生地中のデンプン粒の構成成分の割合が大きく変化し、製パン性に影響を与えたと推察している²⁸⁾。生地の構造をみると、小麦粉のみを用いて形成されたパン生地は、生地形成中のタンパク質とデンプンの相互作用の結果として、滑らかなベール様の網目構造が形成される。このような生地で焼き上げたパンは内相のきめが細かく、薄いシートと単繊維から出来ているが、Pomeranzら⁴⁸⁾ ⁴⁹⁾ が様々な添加物（小麦ふすま、オート殻など）を加えてそれらの影響を調べたところ、前述したような構造が基本的に見られなかったとしている。また、Pomeranzら⁴⁸⁾ は、添加物の割合が5%以下では、グルテンタンパク質濃度の希釈に由来する想定内の変化にすぎなかったが、7%以上になると予想以上にパンの体積が小さくなったと述べている。奥田ら²⁸⁾ は、もち米粉の添加量の増加に従い、比容積の減少の割合がより大きくなっていったことから、これらの報告を裏付けるものといえるとしている。

また、パンの膨化には、グルテンのネットワーク構造の形成が必要である。パン組織におけるデンプン粒は膨潤して細長くなり、グルテン繊維に包まれて散在している⁵⁰⁾。生地中のデンプン粒はこれらの組織構造から、グルテンのタンパク質との相互作用はさほど大きいものではないといえるが、グルテンとデンプンの量のバランスが崩れると、膨化にも影響が出てくるものと考えられる²⁸⁾。米飯パンにおいては、グルテンのネットワーク構造とともに、糊化したデンプンがこれとは異なる気泡構造をとるといわれていることから⁴⁶⁾、米飯パンにおいてもグルテンとデンプンの量のバランスが重要になると考えられる。

米飯パンについては、その配合割合が高くなるとクラムの上部はほぼ空洞になっており、パンとして好ましいとはいえない形状であった。山本ら⁵¹⁾ はアミロペクチン100%から成るモチコムギを用いたパンの実験より、モチコムギ配合割合が80%を超えるとクラムが沈んで縮んでしまったとしている。また、その理由として、市販のホームベーカリーは強力粉に対応しているため、それ以上にパン材料の粘りが増すと、すだちを成形する工程であるミキシングやパンチが十分に行われない可能性があるとしている⁵¹⁾。長澤ら⁵²⁾ は、もち性小麦粉をパンに用いた

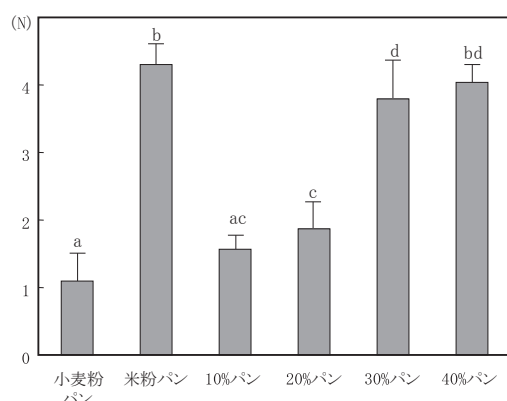


図5 パン生地のかたさ荷重

小麦粉パン、米粉パン、米飯パン4種類(10%パン、20%パン、30%パン、40%パン)について、かたさ荷重を測定した。異なるアルファベットは種類間に有意差があることを示し、バーの上に記した($p < 0.01$)。

場合、特徴のあるもちもち感をもたらすものの、焼成後ケービングするなどの欠点があること^{53) 54)}、その理由として、もち性小麦のタンパク質含量がパンに用いるには低いこと（約10%）、デンプンの糊化温度が通常のうるち性小麦粉よりも約20℃低いため⁵⁵⁾、パン焼成中に中温域で速やかにデンプンの糊化が進み、溶け出した際にグルテンとデンプンにより形成される泡壁のガス保持力が悪くなること、焼成後のパンのデンプンゲル物性が弱く、収縮してしまうことなどが考えられるとしている。

奥田ら²⁸⁾の結果とも合わせると、パンに添加する米の形状は粉状より粒状の方が製パン性がすぐれていること、焼成前に添加するデンプンの糊化を行うことで、グルテンとデンプンのガス保持力が向上し比容積が増加すること、高い比容積を維持するためには一定以上のグルテン量が含有されることと、デンプンとグルテンの量のバランスをとることが必要であることが示唆された。

また、うるち米の炊飯米を用いたパンとの比較について、奥西²²⁾はその高さを検討し、30%置換までは小麦粉パンと同等であり、それ以上の置換率になると高さは低下すると報告している。奥西²²⁾は比容積を測定していないため、本研究の結果と一概に比較できないが、本研究においては、米飯の配合割合が30%までは小麦粉パンと同等、あるいはそれ以上の製パン性を示していた。米粉パンにおいては、米の品種間の差によりパンの物理特性に相違が生じることが報告されている^{9) 16) 24) 25) 46)}ことから、米飯パンにおいても同様に、米の品種間の差により製パン性に相違が生じることが予想されたが、本研究で用いたもち米は少なくとも20%までは比容積において良好な製パン性を示すといえる。

(2) かたさ

かたさとは、物質を変形させるのに必要な力であり、口に入れた時の最初の咀嚼によって感じられる性質の特徴である⁴³⁾。

かたさが最も低かったのは小麦粉パン、次いで米飯10%パンであった（図5）。小麦粉パンと比べた場合、米粉パン、米飯パン（20～40%）は有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。また、米飯含有量が多いほどかたさは大きかった（ $p < 0.01$ ）。

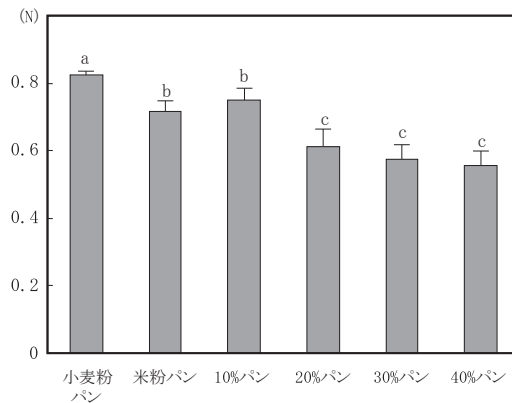


図6 パン生地の凝集性

小麦粉パン、米粉パン、米飯パン4種類(10%パン、20%パン、30%パン、40%パン)について、凝集性を測定した。異なるアルファベットは種類間に有意差があることを示し、バーの上に記した($p < 0.01$)。

米飯パンが小麦粉パンより硬くなった理由として2点考えられる。まず第一に、米飯添加によるグルテン含有量の減少とそれに伴う膨化性の減少である。庄司³⁾は米粉の配合割合を一定にし、グルテンの量を増加させた場合、体積が大きくなりパンは柔らかくなるとしている。第二に、米飯デンプンのグルテン構造に対する影響である。前述したように、米飯はグルテン構造を補強するとともに、それとは異なる気泡保持構造を持つ^{23) 46)}。米飯が多くなると、その構造自体がさらに強化されるため、硬くなると思われる。米飯の配合割合の増加によってパンの硬さが増した作用機序については、さらに検討する必要がある。

また、本研究の結果を奥田ら²⁸⁾と比べると、もち米粉パンはもち米粉の添加量が多くなるに従い、硬さは増大したとしている。うるち米を用いた奥西の報告²²⁾においては、米飯パンは小麦粉パンと比べてかたさが著しく減少しており、米飯添加の増加に関わらず低い値を示しており、米飯添加により従来の小麦粉パンより柔らかくなるとしている。本研究と奥西との相違の要因として、米飯のデンプン組成の違いに加えて、パン調製時の油脂添加の有無があげられる。パン生地に練り込まれた油脂の作用として、容積の増大、食感やすだちの改良、クラム・クラストのソフト化などが報告されている^{27) 56)}。Carlin⁵⁷⁾は小麦粉に対して5~6%までショートニングを増すと漸次柔らかい舌触りのよいパンができるとしている。その作用機序として、油脂はパン生地中のデンプンとグルテンの界面に沿って単分子膜状になって分散し、グルテン同士が滑り合う潤滑油的作用をし、イーストの発酵によって生ずるガスの保持力を増加させ、膨張を助け、容積が大きいふくらとしたパンにするといわれている⁵⁸⁾。油脂を添加していない本研究においては、米飯パンは小麦粉パンより硬く、かつ、米飯添加量の増加に伴い、かたさも増大していった。これについては、パン組織の改善や膨張力の向上といった油脂の作用が、米飯パンにおいてより強く働くとも考えられる。油脂の添加の有無が米飯パンのかたさに影響を及ぼすメカニズムについては今後検討していく予定である。

(3) 凝集性

凝集性とは食品の形態を構成する内部的結合に必要な力を指し、口中でのまとまりやすさを示すテクスチャー特性である⁴³⁾。凝集性は数値として表すことができ、高い値は食品の内部結

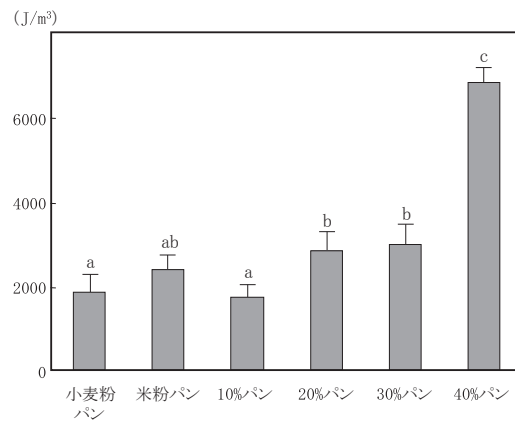


図7 パン生地の付着性

小麦粉パン、米粉パン、米飯パン4種類(10%パン、20%パン、30%パン、40%パン)について、付着性を測定した。異なるアルファベットは種類間に有意差があることを示し、バーの上に記した($p < 0.01$)。

合力が大きいことを示す。

凝集性について、米飯パンは炊飯米の配合割合が上がるにつれて凝集性が低下する傾向がみられた(図6)。もち米粉パンにおいても、凝集性はもち米粉の添加量が多くなるに従い次第に減少していた²⁸⁾。これらのことから、もち米をパンに用いた場合の凝集性については、米の形状や糊化の有無に関わらず低下する傾向にあるといえる。

パンの凝集性について、江上ら⁵⁹⁾は高齢者用のパンについて、パンの凝集性を高めることは咀嚼・嚥下機能が低下した高齢者にとって食べやすくするとしている。また、高橋ら⁶⁰⁾は摂食機能に対応した食事形態として、凝集性が大きいほど口中でまとまりやすく、食塊を形成しやすいテクスチャー特性を示すとしている。本研究において、米飯パンについては、製造時に小麦粉パンと同じ水分量になるよう調製したが、米飯の配合割合が高いパンほど、比容積が小さくなった(図4)。このことは、測定に用いた2cm角の試料に含まれる水分量が多くなることを意味している。以上のことから、米飯パンの凝集性は、小麦粉パンにやや劣るものの、単位体積当たりに含まれる水分量が多いことから通常的小麦粉パンよりも食べやすいと考えられる。これについては、今後詳細に検討していく予定である。

(4) 付着性

付着性とは、食品の表面と他の物体(舌、歯、口腔等)の表面とが付着している引力に打ち勝つのに必要な力である⁴³⁾。その数値が低いほど付着性は小さく、数値が高いほど付着性が大きく、粘りが強いことを示す。

付着性について、小麦粉パンおよび炊飯米の配合割合が低い米飯パン(10%~30%パン)は比較的低い値を示した。炊飯米の配合割合の高い40%パンは付着性が最も高かった(図7)。奥田ら²⁸⁾との比較では、付着性はもち米粉添加量が多くなるに従い増大していた。

付着性については、米飯の添加がパンの物理特性に関与していると考えられる。米は水を加えて加熱すると、ミセル構造に水分子が侵入して構造が緩み、しだいにミセルの大部分が崩れて膨張して糊状(糊化デンプン)になり、粘性をもつようになる。そのため、この粘性を持った米飯の配合割合が高いほど、粘りの要素の1つである付着性も大きくなったと考えられる⁶¹⁾。

江幡ら⁶²⁾は、米飯について、粘り、付着性、および、粘りと付着性の積である粘弾性の3種類の物理特性について、もち米はうるち米よりも顕著に大きな値を示すとしている。以上のことから、もち米を添加したパンについて、配合割合の増加に伴い付着性が增大したのは、添加した米飯そのものの粘りや付着性が影響したと考えられる。また、大越ら⁶³⁾は、パンは水分を含むと付着性が増すと報告している。先にも述べたように、本研究で用いた米飯パンについて、米飯添加量の増加に伴い、単位体積当たりの水分量は多いことが示唆されていることから、水分含有量も米飯パンの付着性に影響を与えていると考えられる。

(5) 色彩構成

食品の色は品質評価の指標の一つであり、おいしさと密接に関係している^{64) 65)}。品質管理の面では、製品の色彩が目標値と合致しているか、どれくらい異なるかといった相対関係を知るために表色系が用いられている⁶⁶⁾。パンにおいても表色系を用いた研究がいくつか行われている^{67) 68)}。本研究では、内相(クラム)と外相(クラスト)の明度(L*), 色彩(a*, b*)について検討した(表2)。

1) クラム(内相)

L*値については、米飯添加の増加に伴い低下し、米飯の添加量が多い40%パンは、他のパンより明度が有意に低かった。a*値について、米粉パンが小麦粉パンよりも高い値を示し($p < 0.01$)、他より赤みが強いことが示唆された。b*値について、米飯パンは試料間で大きな相違はなかったことから、米飯添加量はb*値にはあまり影響を与えないと考えられる。また、米粉パンと他のパンとの間に有意差があり、米粉パンは他のパンより黄みが強い傾向を示した。

以上より、L*値については米飯の配合割合が高くなると明度が低下することが示唆された。これは、炊飯米の配合割合が高いものは、比容積が小さく、比較した単位容積あたりの試料中に含まれる水分量が多くなるため、他のパンよりも明度が低下したと考えられる。

2) クラスト(外相)

L*値について、米粉パンが最も高く、次いで小麦粉パン、米飯パンと続いた。米飯パンは配合割合が増加するに従い、明度が低下する傾向にあった。a*値について、米粉パンが最も高く、小麦粉パンと米飯パンはやや低い値を示した。b*値は米粉パンが最も高く、小麦粉パン、米飯パンと続いた。

奥西²²⁾は、炊飯米を添加したパンのクラストの明度について、小麦粉パンと比較して炊飯米置換率の増加に比例して暗色化したとしており、本研究においても同様の傾向が見られた。

一般に、パン表面の焼き色はカラメル化反応、またはアミノカルボニル反応によるとされる⁶⁹⁾。カラメル化反応による褐変とは、糖類などパン表面にある様々な物質が100℃以上に加熱されることによって種々の着色物質に変化するもので、アミノ化合物と反応することなく褐変化する現象を指す。一方、アミノカルボニル反応は、食品の加工貯蔵あるいは調理過程において成分間反応により生じるもので、アミノ化合物とカルボニル化合物とが反応して、最終的にはメラノイジン(褐色色素)と呼ばれる着色重合物を生成する現象を指す。このため、単位面積当たりの糖類やアミノ酸類が多い方が着色が強く、焼き色が強くなり、明度が下がったり黄味が弱くなったりする。したがって、パンの膨張の小さいものはこうした現象が起こりやすいとされる⁷⁰⁾。

表2 各種パンの色彩構成

		L *		a *		b *					
		平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD				
クラム	小麦パン	75.73	± 0.48	a	-0.98	± 0.08	a	9.70	± 0.43	a	
	米粉パン	76.35	± 0.08	b	-0.56	± 0.03	b	12.26	± 0.20	b	
	米飯パン	10%	72.38	± 0.22	c	-0.52	± 0.00	b	7.76	± 0.18	c
		20%	75.49	± 0.16	a	-0.71	± 0.02	c	8.34	± 0.09	d
		30%	74.08	± 0.14	d	-0.89	± 0.03	d	9.44	± 0.02	a
40%		69.05	± 0.14	e	-1.10	± 0.04	e	8.50	± 0.01	d	
クラスト	小麦パン	51.18	± 1.03	a	13.42	± 0.74	a	24.85	± 0.26	a	
	米粉パン	51.79	± 0.31	b	16.41	± 0.07	b	28.18	± 0.19	b	
	米飯パン	10%	50.17	± 0.02	c	13.31	± 0.14	ad	22.11	± 0.34	c
		20%	49.82	± 0.03	c	12.85	± 0.06	c	18.21	± 0.05	d
		30%	48.72	± 0.03	d	12.96	± 0.15	cd	19.90	± 0.09	e
40%		47.51	± 0.08	e	13.03	± 0.10	acd	22.85	± 0.23	f	

クラムおよびクラストの各L*, a*, b*間における異なるアルファベットは、有意差があることを($p < 0.05$)。

米飯パンは焼き色が強く、明度や黄味が低下した。その要因として、還元糖類やアミノ酸の関与が考えられる。これらはアミノカルボニル反応の前駆体であり、通常パン生地形成過程において発生する。加えて、炊飯過程においても還元糖や遊離アミノ酸が増加すること^{71) -75)}、米の糊化処理の有無がパン生地発酵中の糖の消長に影響を及ぼす⁷⁶⁾ことが報告されている。つまり、米飯パンのクラストの明度の低下は、還元糖やアミノ酸を多く含む原料（米飯）をパン生地材料として使用したこと、生地形成中にこれら物質がさらに生成されたことが要因と考えられる。

4. 要約

本研究では、パンの材料として米飯に着目し、炊飯したもち米の配合割合を変えた場合の米飯パンの製パン性および物理特性について検討した。米飯の配合割合を変えて調製した4種類の米飯パン（10～40%）、小麦粉パン、米粉パンの合計6種類を試料として用いた。その結果、米飯パンは、20%添加までは従来の小麦粉パンと同等の製パン性を示した。かたさは小麦粉パンが最も低く、米飯パンは米飯の配合割合の増加に伴い、かたさも増加した。米飯パンの凝集性については、米飯添加に伴い低下した。米飯パンの付着性は、40%が最も高かった。今後は、他の副材料、例えば油脂が米飯パンに及ぼす影響を検討すると共に、今回用いた「きんたもち」とは米の品種を変えて、米飯パンの物理化学特性について検討していく。

本研究成果は杉山綾さん（当時、静岡大学教育学部4年生）の尽力による。

参考文献

- 1) 奥座宏一，岡部繭子，島純：米粉利用の現状と課題—主に米粉パンについて—，日本食品科学工学会誌，55，pp.444-445（2008）
- 2) 青木法明，梅本貴之，鈴木保宏：グルテン添加米粉パンにおける多収性稲品種の製パン特性，日本食品科学工学会誌，57，pp.107-113（2010）
- 3) 庄司一郎，柴田昌英：米粉の混入が小麦粉製品に及ぼす影響：第1報：発酵パンについて，

- 調理科学, 5, pp.163-168 (1972)
- 4) 綿貫亜紀, 原安夫, 新井映子: 米粉パン製造時の物性に及ぼす電解生成水の影響, 日本調理科学会誌, 37, pp.352-359 (2004)
 - 5) 遠藤千鶴, 後藤月江: グルテンを添加しない米粉パン (大学発! 美味しいバイオ), 生物工学会誌, 87 (8), pp.406-407 (2009)
 - 6) 辻昭二郎: 米粉添加パンの製造とテクスチャー特性の評価について, 調理科学, 13, pp.152-155 (1980)
 - 7) 有坂将美, 中村幸一, 吉井洋一: 米粉の製造方法及びその利用食品, 特許第1866267号 (1996)
 - 8) 江川和徳, 宍戸功一, 中村幸一: 微細粒米粉並びにその製造方法並びに当該微細粒米粉を使用した加工食品, 特許第2077863号 (1995)
 - 9) E.Araki, T.M.Ikeda, K.Ashida, K.Takata, M.Yanaka and S.Iida: Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten. *Food Sci. Technol. Res.*, 15, 439-448 (2009)
 - 10) Tanaka, Y.: Quality Improvement of rice bread. *JARQ*, 6, 181-187 (1972)
 - 11) 高野博幸, 豊島英親, 渡辺敦夫, 小柳妙, 田中康夫: 生米粉の性状がレオロジー特性及び製パン特性に及ぼす影響, 食品総合研究所研究報告, 48, pp.43-51 (1986)
 - 12) 高野博幸, 豊島英親, 小柳妙, 田中康夫: 米粉高置換添加ブレッドの品質改善, 食品総合研究所研究報告, 48, pp.52-62 (1986)
 - 13) Yamauchi, H., Noda, T., Matsuura-Endo, C., Takigawa, S., Saito, K., Oda, Y., Funatsuki, W., Iriki, N., and Hashimoto, N.: Bread-making quality of wheat/rice flour blends. *Food Sci. Technol. Res.*, 10, 247-253 (2004)
 - 14) Nakamura, S., Suzuki, K., and Ohtsubo, K.: Characteristics of bread prepared from wheat flours blended with various kinds of newly developed rice flours. *J. Food Sci.*, 74, 121-130 (2009)
 - 15) 宍戸功一, 江川和徳: ペクチナーゼ処理による米粉の製造法及びその製パン適性 (第1報) 米の粉食文化に関する研究, 新潟県食品研究所研究報告, 27, pp.21-28 (1992)
 - 16) 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, pp.394-402 (2009)
 - 17) Nishita, K.D., Roberts, R.L., Bean M.M., and Kennedy, B.M.: Development of a yeast-leavened rice-bread formula. *Cereal Chem.*, 53, 626-635 (1976)
 - 18) Ylimaki, G., Hawrysh, Z.J., Hardin, R.T., and Thomson, A.B.R.: Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads: Objective measurements. *J. Food Sci.*, 53, 1800-1805 (1988)
 - 19) Cato, L., Gan, J.J., Rafael, L.G.B., and Small, D.M.: Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums. *Food Australia*, 56, 75-78 (2004)
 - 20) Sabanis, D., and Tzia, C.: Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. *Food Sci Technol Int.*, 17, 279-91 (2011)
 - 21) Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., and Biliaderis, C.G.: Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047 (2007)

- 22) 奥西智哉：米飯米を生地に添加したパンの官能評価，日本食品科学工学会誌，56，pp.424-428（2009）
- 23) 柴田真理朗，杉山純一，蔡佳飴，蔦瑞樹，藤田かおり，粉川美踏，荒木徹也：粥状に糊化処理した米を添加したパンの粘弾性および気泡構造，日本食品科学工学会誌，58，pp.196-201（2011）
- 24) 鈴木保宏：米粉パン等の米粉利用に適する品質特性と好適品種，日本応用糖質科学会誌，2，pp.12-17（2012）
- 25) 高橋克嘉，奥西智哉，鈴木啓太郎，柚木崎千鶴子：米粉パンの加工適性評価と宮崎県産米粉間の比較，日本食品科学工学会誌，58，pp.55-61（2011）
- 26) 吉野精一：パン「こつ」の科学，柴田書店，p.33-35（1993）
- 27) 田中康夫，松本博編著：製パン材料の科学，光琳，p.106（1996年）
- 28) 奥田弘枝，J.G.Ponte Jr.：パンの物理的性状に及ぼすもち米粉添加の影響（1），広島女学院大学論集，51，pp.81-93（2001）
- 29) 奥田弘枝，J.G.Ponte Jr.：パンの物理的性状に及ぼすもち米粉添加の影響（2）酵素によるパンの品質改善効果，広島女学院大学論集，52，pp.77-90（2002）
- 30) 市川和昭：油脂および乳化剤による米粉パンの物性改善，日本食品科学工学会誌，57，pp.420-426（2010）
- 31) Nishita, K.D., and Bean, M.M. : Physiocochemical properties of rice in relation to rice bread. *Cereal Chem.*, 56, 185-189（1979）
- 32) 長沼誠子，畑江敬子，島田淳子：米粉生地の物理的・化学的特性に及ぼす放置処理の影響，日本家政学会誌，45，pp.783-789（1994）
- 33) 高野博幸，山方次郎，花木満，小柳妙，田中康夫：調理法を異にする米粉の添加が小麦生地の物性および製パン性に及ぼす影響，食品総合研究所研究報告，34，pp.35-43（1979）
- 34) 西岡昭博，香田智則，池田進，小山清人，東野真由美： α 化穀粉の製造方法及び製造装置，特許公開番号2007-75104号（2007.3.29）
- 35) 大塚節子：小麦蛋白質を含まない生地焼成食品及びその製造方法並びに酵母生地用プレミックス，特許出願公開番号2006-174822（2007.7.6）
- 36) Miles, M.J., Morris V.J., Orford P.D., and Ring, S.G. : The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*, 135, 271-281（1985）
- 37) Ring S.G., Colonna, P., I' Anson, K.J., Kalichevsky, M., Miles, M.J., Morris, V.J., and Orford, P.D. : Gelation and crystallisation of amylopectin. *Carbohydrate Research*, 162, 277-293（1987）
- 38) リチャード・バーティネット著，千代美樹翻訳：DOUGH —パン生地—，産調出版（2012）
- 39) 木戸詔子，池田ひろ：新食品・栄養科学シリーズ調理学 食べ物と健康4，化学同人，p.45（2003）
- 40) 石田恵美子，貝沼圭二，高橋節子：新形質米の調理・加工適性に関する研究（第7報）赤ワイン添加が新形質米の炊飯ならびに食味特性におよぼす影響，日本調理科学会誌，33，pp.456-462（2000）
- 41) 金谷昭子：フローチャートによる調理科学実験・実習，医歯薬出版，pp.5～8，p.17（1984）

- 42) 岡野節子, 久保さつき, 岩崎ひろ子: パンにおける物性測定方法の検討, 鈴鹿短期大学紀要, **12**, pp.55-61 (1992)
- 43) 農林省食糧研究所: 食品の物理的性質の官能検査, 食糧—その科学と技術—, **7**, pp.119-127 (1964)
- 44) 田中康夫, 松本博編著: 製パンプロセスの科学, 光琳, p.5 (1992)
- 45) 貝沼やす子, 田中佑季: 米添加パンの調製にペースト状の米を利用する効果, 日本食品科学工学会誌, **56**, pp.620-627 (2009)
- 46) K.Iwashita, K.Suzuki, K.Miyashita, and T. Okunishi: Effects of rice properties on bread made from cooked rice and wheat flour blend. *Food Sci. Technol. Res.*, **17**, 121-128 (2011)
- 47) Schroeder, L.F., and Hosney, R.C.: Mixograph Studies.II. Effect of activated double-bond compounds on dough-mixing properties. *Cereal Chem.*, **55**, 348-359 (1978)
- 48) Pomeranz, Y., Shogren, M.D., Finney, K.F., and Bechtel, D.B.: Fiber in breadmaking—effects on functional proteins. *Cereal Chem.*, **54**, 25-41 (1977)
- 49) Pomeranz, Y., Meyer, D., and Seibel, W.: Wheat, wheat-rye, and rye dough and bread studies by scanning electron microscopy. *Cereal Chem.*, **61**, 53-59 (1984)
- 50) 星野忠彦, 高野敬子, 松本エミ子: 食品組織学, 光生館, p.215 (1998)
- 51) 山本真紀, 森恵理香: 新品種モチコムギの特性調査および製パン試験, 関西福祉科学大学紀要, **13**, pp.129-143 (2010)
- 52) 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: 国産もち小麦「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, 日本調理科学会誌, **44**, pp.214-222 (2011)
- 53) Morita, N., Maeda, T., Miyazaki, M., Yamamori, M., Miura, H., and Ohtsuka, I.: Dough and baking properties of high-amylose and waxy wheat flours. *Cereal Chem.*, **79**, 491-495 (2002)
- 54) Hayakawa, K., Tanaka, K., Nakamura, T., Endo, S. and Hoshino, T.: End use quality of waxy wheat flour in various grain-based foods. *Cereal Chem.*, **81**, 666-672 (2004)
- 55) 谷口義則, 伊藤裕之, 平将人, 前島秀和, 吉川亮, 中村和弘, 八田浩一, 中村洋, 伊藤美環子, 伊藤誠治: 製粉性, 粉の色相及び収量性が改善された寒冷地向けもち性小麦新品種「もち姫」の育成, 東北農業研究センター研究報告, **109**, pp.15-29 (2008)
- 56) Daniels, D.G.H., and Fisher, N.: Release of carbon dioxide from dough during baking. *J. Sci. Fd. Agric.*, **27**, 351- 357 (1976)
- 57) G.T.Carlin: The functions of fat in bread dough., *Bakers Digest*, **21**, 78-80 (1947)
- 58) 江戸博, 川出智: マーガリン類の最近の動向, 油化学, **40**, pp.904-914 (1991)
- 59) 江上いすず: 形態性・機能性を考慮した高齢者に対するパンの開発, 名古屋文理大学紀要, **10**, pp.109-114 (2010)
- 60) 高橋智子, 増田邦子, 佐々木真希, 濱千代善規, 大越ひろ, 手嶋登志子: 摂食機能に応じた食事形態のテクスチャーの特徴 —特別養護老人ホームの食事と市販レトルト介護食品の比較—, 栄養学雑誌, **62**, pp.81-90 (2004)
- 61) 木戸詔子, 池田ひろ: 新食品・栄養科学シリーズ 食べ物と健康4 調理学, p.35, 化学同人 (2003)

- 62) 江幡守衛, 山田勉, 石川雅士: 米飯のテクスチャーに関する研究: 第3報 テクスチャーの品種間差異, 日本作物学会記事, 58, pp.569-575 (1989)
- 63) 大越ひろ: 原因食品の物性分析 ご飯・パンの物性の解析, 平成20年度厚生労働科学特別研究事業「食品による窒息の要因分析 - ヒト側の要因と食品のリスク度 -」, pp.25-33 (2009)
- 64) 野村順一: 色の秘密 最新色彩学入門, 文藝春秋 (1994)
- 65) 奥田弘枝, 田坂美央, 由井明子, 川染節江: 食品の色彩と味覚の関係: 日本の20歳代の場合, 日本調理科学会誌, 35, pp.2-9 (2002)
- 66) 土屋潤: 4色をはかる (色彩に関する基礎知識), Finex, 20 (117), pp.30-33 (2008)
- 67) 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, 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 農協編, 51, pp.25-28 (2003)
- 68) 大藪佳苗, 木村友子, 三宅義明: 製パンにおけるレモンフラボノイド添加の影響, 日本調理科学会誌, 41, pp.297-303 (2008)
- 69) 田中康夫, 松本博編著: 製パンプロセスの科学, 光琳, pp.207-211 (1991)
- 70) 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, 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 農協編, 51, pp.25-28 (2003)
- 71) 丸山悦子, 東紀代香, 梶田武俊: 米飯の物理化学的特性と食味評価の関係, 家政学雑誌, 34, pp.819-825 (1983)
- 72) 香西みどり, 石黒恭子, 京田比奈子, 浜藺貴子, 畑江敬子, 島田淳子: 米の炊飯過程における還元糖および遊離アミノ酸量の変化, 日本家政学会誌, 51, pp.579-585 (2000)
- 73) 貝沼やす子, 関千恵子: 米の調理に関する研究-3-炊飯条件として (沸騰に至るまで) の加熱速度, 家政学雑誌, 34, pp.690-697 (1983)
- 74) 丸山悦子: 炊飯に関する基礎的研究 (第2報) -炊飯過程における温度履歴が飯の食味におよぼす影響-, 調理科学, 24, pp.297-301 (1991)
- 75) 松崎昭夫, 高野哲夫, 坂本晴一, 久保山勉: 食味と穀粒成分および炊飯米のアミノ酸との関係, 日本作物学会紀事, 61, pp.561-567 (1992)
- 76) 高野博幸, 小柳妙, 田中康夫: パン生地発酵中の糖の消長に及ぼす各種米粉添加の影響, 日本食品工業学会誌, 27, pp.522-528 (1980)