米粉の科学と
新たな展開

米粉パン等の米粉利用に適する品質特性と 好適品種

鈴木保宏 (すずき やすひろ)

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
作物研究所 稲研究領域 上席研究員

1. はじめに

日本は食料の過半を海外に依存しており、カロリーベースの食料自給率は約 40%と低い。そのため、農林水産省が決定した「21 世紀新農政 2008 ～食料事情の変化に対応した食料の安定供給体制の確立に向けて～」¹⁾には、食料の自給力を高めるために米は「米粒」としてばかりでなく「米粉」として利用する取り組みを「本格化する」と明記している。「米粉」とは、文字通り米を粉砕して作った「粉」のことであり、中国やベトナム、タイ等のアジア各国では、ビーフン、フォー等のライスヌードルやライスペーパー等の主食の材料として米粉が利用されている。一方、日本の粉としての利用は主に和菓子や米菓等の材料用に限られている。このため、国産の米をパンや麺に利用することや、食料の自給率と自給力を高めるための技術開発、次世代の技術革新につながる画期的な品質素材の開発（品質の多様化）が必要である。そこで、主に米粉利用につながる品質解析や品質の多様化につながる育種素材の開発のために、（独）農研機構が中心となった農水省委託プロジェクト「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」（通称「加工プロ」）を行ってきた。本稿では、そこで得られた成果を中心に、米粉パン等の米粉利用に適する品質特性と好適品種について紹介する。

2. 米粉と米粉パンの種類

一般的に知られていてスーパー等で手軽に購入できる米粉は、菓子の製造に使われるうるち米の粉の 1 つである上新粉である。上新粉の用途は団子やせんべい等の菓子・米菓用途がほとんどであり、小麦粉のように広範囲に加工利用されることはなく、米粉パン適性も高くない。本稿で記す米粉は、米粉パン等の米粉利用に適するように開発された米粉である。

米粉と小麦粉とで大きく利用方法が異なる理由は、パンの骨格となるタンパク質「グルテン」の有無による。グルテンは水を加えて捏ねると、粘りと弾力のあるガムのような性質を持つ構造物となる。この性質を利用して、小麦粉からは様々な加工食品が作られる。例えば、小麦粉パンを製造する場合においては、生地中でグルテンが網目構造を

作り、その網目構造に発酵で生じた気泡が入り込んで生地を押し広げる結果、細かい気泡が入ったふっくらとしたパンができる。ところが、米粉はよく膨らんでソフトなパンを作るために重要な働きをする、グルテンが含まれていない。そこで、米粉パンは、①米粉に小麦由来のグルテンを 2 割程度添加する（グルテン添加米粉パン）、②小麦粉に米粉を 5～50% 程度混合する（米粉混成パン）、③米粉の一部を前もって糊化させる、ないしは米粉にグアガム等の増粘多糖を添加する（100% 米粉パン）、により製造している。

3. アミロースやタンパク質等の成分と米粉パン特性の関係

3.1 グルテン添加米粉パン

3.1.1 グルテン添加米粉パンとアミロース含有率

アミロース含有率は食品加工では重要な形質の 1 つであり、澱粉の糊化特性に影響するが、米粉パン製造においてもアミロース含有率が品質に影響することが明らかになっている²⁾ (図 1)。そこで、様々なアミロース含有率の米から調整した米粉でグルテン添加米粉パンを製造した。すると、「ミルキークイーン」や「スノーパール」等の低アミロース米品種（含有率 5～15%）で製造する食パンの食感は、しっとりしてモチモチ感が強いが過度に柔らかく、パンの側面が潰れる傾向（腰折れ）が認められた。一方、「夢十色」や「モミロマン」等の高アミロース米品種（同 25% 以上）ではパンの形状はしっかりしており、パンの比容積（単位重量あたりの体積）も高かった。しかしながら、製造後の日数が長くなると、特にやや低温で貯蔵した場合に硬くパサパサする傾向が認められた。それに対して、アミロース含有率が中程度（17～23% 程度）の「コシヒカリ」、「日本晴」等日本の一般的な食用イネ品種や「タカナリ」等の多収穫米品種（後述、5.1 を参照）の米粉を用いた場合には、腰折れもせずそれほど硬くもならず、かつしっとり感やモチモチ感があり、米粉パンに最も適する結果が得られた。なお、低アミロース米で製造した米粉パンは、腰折れのため食パンには適さないが、菓子パンやコッペパンの製造では小麦粉パンにはないモチモチとした食感を活かせると期待されている。

	コシヒカリ	LGCソフト	朝つゆ	北陸166号	夢十色	みずほのか
アミロース含有率(%)	17.6	10.0	6.8	18.0	35.6	17.9
タンパク質含有率(%)	6.0	6.6	5.3	6.5	6.5	6.0
内相部硬度 (hPa/mm ²)	81	21	-	79	290	54

図 1. アミロース含有率の異なる米粉で製造したグルテン添加米粉パンの形状と硬化速度

山型食パンを（米粉85%＋グルテン15%）で製造。使用した米粉の品種特性は、LGCソフト（低アミロース米，低グルテリン米），朝つゆ（低アミロース米），北陸166号（粉質米），夢十色（高アミロース米），みずほのか（低グルテリン米）。

	ミルキープリンセス	ミルキークイーン	ホシニシキ	タカナリ	コチビビキ	夢十色	北陸166号	コシヒカリ
アミロース含有率(%)	8.5	8.5	22.6	16.9	21.2	32.1	17.7	17.5
タンパク質含有率(%)	6.4	6.3	6.2	8.7	6.2	7.0	7.2	5.2
パンの硬化速度 (g/日)	25	23	47	36	44	43	29	39

図 2. アミロース含有率の異なる米粉で製造した米粉混成パンの形状と硬化速度

角型食パンを（小麦粉70%＋米粉30%＋グルテン6%）で製造。使用した米粉の品種特性は、ミルキープリンセスとミルキークイーン（低アミロース米），ホシニシキと夢十色（高アミロース米），北陸166号（粉質米），タカナリ（多収穫米）。

3.1.2 グルテン添加米粉パンとアミロペクチン構造

アミロース含有率に加え，アミロペクチン構造もグルテン添加米粉パンの品質に影響することが明らかになっている。アミロペクチン構造に影響する変異は数多く知られており，このうちのアルカリ崩壊性“難”の特性（*Alk*）を有する米粉で製パンすると，パンの形状はしっかりしているが，製造直後から硬くなる³⁾。アルカリ崩壊性は米粒をアルカリ性溶液に浸すと澱粉が溶けだす性質であり，日本晴のような一般的な日本品種ではアルカリ崩壊性“易”である^{4,5)}。“易”（*alk*）の米ではカサラスのような“難”の米と比較しアミロペクチンの短鎖長鎖（グルコースの重合度 6～11）が多く，中鎖長鎖（12～23）が少ない特性を有する。多収穫米品種「クサホナミ」はアルカリ崩壊性“難”であり，そのアミロース含有率は「コシヒカリ」程度であるが，パンの硬さは製造後 1 日目で「コシヒカリ」の 2 倍，2 日目で 3 倍であった（5.1 を参照）³⁾。なお，日本晴の同質遺伝子系（^{注1}）統対 4 系統（ $Wx^b alk$ = 「日本晴」， $Wx^a alk$ ， $Wx^b Alk$ ， $Wx^a Alk$ ）を用いて製パンしたところ，パンの硬さは $Wx^a Alk > Wx^b Alk > Wx^a alk > Wx^b alk$ であった。

アルカリ崩壊性“難”以外にもアミロペクチン構造変異体が見出されており，これらの変異もパンの品質に影響す

る。“高アミロース（*amylose-extender: ae*）変異体”と呼ばれる変異系統はアミロペクチンの枝きり酵素 IIb が欠失するため，アミロペクチンの短鎖比率が「コシヒカリ」よりも減少し，長鎖比率が増大する変異体である^{6,7)}。この変異体の米粉を用いて製パンした場合では，アルカリ崩壊性“難”の場合以上に硬くなりやすく，用いる品種にもよるが 2 日目で「コシヒカリ」の 3.7～5.7 倍の硬さであった。以上のように，アミロペクチンの長鎖比率が増大することにより米粉パンの硬さが高まる傾向がある。この原因として，これらの米の糊化温度は高いこと，RVA 等，物性測定値のセットバック値が高く，澱粉の老化性が高いこと等が関係しているものと考えられる。

3.2 米粉混成パンとアミロース含有率

大手製パン企業が主に製造販売する米粉パンは，米粉混成パン（米粉混成小麦粉パン）である。米粉混成パンに適するアミロース含有率は基本的にはグルテン添加米粉パンの場合と同じであるが，米粉の占める割合が相対的に少ないためアミロース含有率の影響は少ない傾向がある（図 2）。すなわち，添加する低アミロース米品種のアミロース含有率や米粉の量にもよるが，低アミロース米品種を用いても腰折れは少なく，モチモチ感には十分に認められる。また，アミロース含有率が 21～25% 程度やや高アミロース米品種の米粉を使用する場合も，製造直後ではパサパサ感や硬さはそれほどでもない結果が得られている。しかし，一

^{注1} 同質遺伝子系統とは，目的とする形質以外は「原品種＝日本晴」と同じ遺伝的背景をもつ系統。 Wx はでん粉合成酵素の遺伝子を意味し， Wx^a は高アミロースの遺伝子型， Wx^b は「コシヒカリ」程度の中程度のアミロースの遺伝子型。

般的に米粉パンで問題となっている日持ちの悪さや硬くなりやすい特性が、顕著になりやすい。特に、15℃以下のやや低めの温度で貯蔵した場合には注意が必要である。

3.3 100% 米粉パン

3.3.1 100% 米粉パンの特徴

米粉混成パンでは小麦粉を50～95%の使用する。また、グルテン添加米粉パンの製造にも、小麦粉中に10%程度含まれるグルテンを抽出・加工し使用する。これら小麦はほぼ輸入品と考えられるので、米粉混成パンやグルテン添加米粉パンは国産米を用いているとはいえ、その製造は海外の農産物に頼っていることになる。従って、小麦粉やグルテンを使用しない100%米粉パンは、食料の自給力向上に寄与すると期待される。なお、100%米粉パンは小麦粉やグルテンを用いずに製造するので、小麦アレルギー疾患を有する方には有用なパンとなる。

100%米粉パン製造の鍵となるのは、グルテン無しでパン生地を膨らませる技術であり、グアガム等の増粘多糖類を加える製造方法は最も一般的な製法である。アミロース含有率等の組成に特徴がある米を材料とし、この製法で100%米粉パンを製造したところ、低アミロース米品種の米粉ではパンは良く膨らみ、かつパンも柔らかい結果が得られている。それに対して、高アミロース米品種で製造した場合には、膨らみが悪く、硬いパンとなる。

3.3.2 グルタチオンを添加する100%米粉パン

増粘多糖類を用いずに、トリペプチドの1つであるグルタチオンを添加し、パンを膨らませる方法が開発された^{8,9)}。グルタチオンを米粉生地に添加し、一晚放置後に発酵させることで膨らみが増大し、パンの比容積は無添加と比較し2.4倍まで高まった。グルタチオンの添加が米粉パンの比容積を高めるメカニズムはまだ明らかではないが、還元型のグルタチオンが米に含まれるタンパク質間の結合を切断することで、澱粉の膨潤・糊化を促進すると推察されている。現在、サプリメントとしては認可されているものの食品添加剤とは認可されていないグルタチオンをどのように添加するかや、食塩の添加により膨らみが低下する問題点をどう改良するかについて、改善が進められている。

3.3.3 前発酵処理する100%米粉パン

米粉に米麴を添加して前発酵させることで、膨らみの向上した100%米粉パンの製造が可能になった¹⁰⁾。この方法により、麴の添加無しと比較し、約2倍程度膨らみが向上した。アミロース含有率の影響について検討した結果、15%程度以上のアミロース含有率であれば膨らむこと、そして20～25%程度のアミロース含有率が膨らみと食感の両面でもより適していることが明らかになった。また、貯蔵タンパク質の影響について検討したところ、「コシヒカリ」等の一般的な品種を用いると生じる発酵臭（味噌臭）がグロブリン欠失米を用いることで低減化され、風味が向上することが明らかになった。

3.4 米粉のタンパク質

3.4.1 タンパク質の含有率と組成の影響

生産コストは多肥栽培により増加するが、より収量性が高い多収米品種を多肥栽培に用いれば、低コストで米粉を生産することが可能になる。しかし、多肥栽培により増加した米のタンパク質含有率が、米粉パンの品質に悪い影響を与える可能性も考えられる。そこで、施肥量を変えて複数のイネ品種を栽培することでタンパク質含有率の異なる米粉を作出し、これら米粉を用いて製造したグルテン添加米粉パンおよび米粉混成パンの品質特性を調査した。その結果、タンパク質含有率の多寡は米粉パンの比容積や硬さに対して余り影響しないこと、仮に多肥栽培により高タンパク質含有率の米が生産されても、パンの品質上は問題とならないことが明らかになった。炊飯米においては多肥条件で栽培された場合にタンパク質含有率が高くなり、結果的に硬い飯となる。従って、タンパク質含有率の影響は米粒と米粉で異なると考えられる。なお、多収米の多くは、いわゆる「飼料イネ」として育成されたため、炊飯米としての食味は必ずしも良くはないが、製パン上での問題は見あたらない。

3.4.2 タンパク質変異米と製パン特性

タンパク質の組成については、「みずほのか」や「LGC1」のような低グルテリン米品種等の「タンパク質変異米」を用いて解析がなされている。低グルテリン米で製造したグルテン添加米粉パンでは比容積がやや高まる傾向²⁾が、また米粉混成パンでは風味がやや良くなる傾向が、それぞれ得られている。「奥羽405号」等の低グルテリンかつ26 kDa グロブリン欠失米品種を用いた米粉混成パンは、風味やしっとり感、膨らみが良いことが、最近明らかになった。米粉混成パンは大手製パン企業が製造し、最も消費が期待される米粉パンであるが、原料となる低グルテリンかつ26 kDa グロブリン欠失米品種の栽培地は限られているので、日本全国で栽培可能な品種開発が望まれる。

3.4.3 貯蔵タンパク質変異体「esp2」の米粉パン

九州大学で開発された貯蔵タンパク質欠失変異体「esp2」では、胚乳にグルテリン前駆体を集積する¹¹⁾。この「esp2」米粉を用いてグルテン添加米粉パン（食パンおよびコッペパン）を製造した場合、比較品種「金南風」の米粉パンは大きく腰折れするのに対し、「esp2」米粉のパンでは腰折れが小さい結果が得られている¹²⁾。「esp2」米粉パンは風味も良いので、収量性を高めるための品種改良が各地で行われている。

4. 米粉の粉体特性と製パン

4.1 損傷澱粉含有率と米粉パンの特性

米の粉体特性はグルテン添加米粉パンの膨らみ（比容積）に影響することが明らかになっている¹³⁾。米胚乳澱粉粒の詰まりは密なため、米粒は小麦粒よりも硬い。そのため、米粒を小麦粉のように細かく製粉しようとする、粉砕時に

図 3. 損傷澱粉含有率とパンの比容積の関係

大きな力を加える必要があり、その結果として澱粉が損傷を受ける。粉碎時の物理的な力（圧力や熱）によって損傷を受けた澱粉は「損傷澱粉」と呼ばれ、「傷」のない通常の澱粉と比べて水を吸収しやすく、米粒中の種子内在性澱粉分解酵素の作用も受けやすい^{14,15)}。この損傷澱粉含有率が増大した結果として、米粉パンの比容積が低下する（図 3）。この損傷澱粉含有率の少ない米粉が製パンに適していることは、グルテン添加米粉パンの製造において明らかとなったが、米粉混成パンについても同様な傾向が認められている。

4.2 米粉パンに適する米粉の形状

一般的な米粉である上新粉と小麦粉では、グルテンの有無以外にも粒子の大きさや形状にも違いがある。米粉パンの製造には、角張った米粉粒子が少なく、小麦粉並みに細かい米粉が適している。米胚乳には細胞壁に包まれた細胞がぎっしりと詰まっており、細胞内には多面体構造の単粒澱粉で構成された複粒澱粉が存在する。そのため米粒は小麦粒よりも硬く、既存の粉碎方法では細かい粒子を得ることが難しかった。そこで、新潟県食品研究センターは精米をペクチナーゼ溶液で処理し細胞壁を部分的に分解した後、気流粉碎する（酵素処理気流製粉）方法を開発した¹⁶⁾。これにより、粒子が細かく、角張った粒子の少ない、そして損傷澱粉含有率の低い米粉パンに適する米粉が製造できるようになった。

4.3 製粉性と米粉パンに適する品種

損傷澱粉含有率が少ない米粉を得るためには、新潟県食品研究センターが開発した「酵素処理気流製粉法」が最適ではあるが¹⁶⁾、高額で大規模な製粉施設と複雑な作業工程が必要である。全国各地の地産地消の取り組みでは、資金や設備を余りかけずに小型で安価な粉碎機（ピンミル）を用いて、自らが生産した「米」を製粉している。そこで得られた米粉は、酵素処理気流製粉した米粉に比べて粒子が粗く、損傷澱粉含有率も高くなる。そのため、ふっくらとした食パンの製パンには余り適さないが、膨らみをそれ程考慮する必要のないコッペパンや惣菜パン等の製造には十分な品質の米粉である。このように、ピンミル乾式製粉はその利用が限定的であるものの、地産地消と地域農業の活性化を目的とした自家製粉に利用できると考えられる。

図 4. 粉質米の種子構造と製粉特性

利用が限定的ともいえるピンミルを用いても、より米粉パン加工に適する米粉が調製できないか、製粉の簡便化、製粉コストの削減がより可能にならないかを、品種と製粉特性の面から比較解析した。すると、心白や乳白を示す粳米「粉質米」が粉碎しやすいことが明らかになった¹⁷⁾。これらの米粒の白濁した部分では澱粉粒の詰まりは疎で、澱粉粒間の隙間が多いため、穀粒の硬度は透明な正常米粒よりも低い（図 4）。粉質米をピンミルで乾式製粉した場合には損傷澱粉含有率の少ない粉となり、酵素処理製粉した米粉に近い良い膨らみを示す米粉パンを製造することが可能となる¹⁸⁾。以上のような理由から、粉質米を利用することで製粉コストの削減が期待されるが、粉質米は砕けやすいため精米歩留まりが悪い問題点がある。

4.4 粉質米品種の開発

2009 年に育成された「ほしのこ」は、粉質米品種としては精米歩留まりが高い。「ほしのこ」の精米歩留まりが高い理由は玄米外側に硬い層があるためと推察されるが、詳細は不明である。「ほしのこ」の粉質性に関する原因遺伝子は第 5 染色体上の *pyruvate orthophosphate dikinase* (PPDK) 遺伝子と強く連鎖し、PPDK 遺伝子のエクソン内には 2 塩基の挿入によるフレームシフト変異が生じていることが明らかになっている。既にこの変異を判別する DNA マーカーが開発されているので、今後より高収量で、より精米歩留まりが高い系統の選抜が期待できる。なお、PPDK 変異は *flo4* 変異として同定されている¹⁹⁾。

現在、粉質米系統として、より精米歩留まりの良い「奥羽 412 号」等が育成されているほか、精米歩留まりを考慮する必要がない方法として、玄米を精米することなく直接製粉し玄米粉として利用する方法が開発されている（5.2 を参照）。

5. 米粉パン製造の低コスト化

5.1 多収穫米の製パン性

米粉の利用を拡大していくためには、原料米の安価で安定的な供給が不可欠であり、多収穫米品種を利用した低コスト栽培による原料米の価格低減が期待されている。農研機構では、各地域に適した多収穫米品種（一般品種に比べ、

図 5. 多収穫米品種等の米粉から製造された米粉パン

2~4 割多収)を育成している²⁰⁾。多収穫米品種の中には飼料用に開発された品種も含まれるため、米の外観品質がやや悪い品種も多い。これら品種では心白や乳白の外観をもつ白濁粒が多いため、粉質米としての特性ももち、製粉しやすい傾向がある。多収穫米品種のアミロース含有率は「コシヒカリ」並か、やや高い程度のもが多く、製造したグルテン添加米粉食パンは腰折れがなく、形状は良い。つまり、これら米粉は米粉パン用米粉として、十分な特性を有している³⁾(図 5)。しかし、「モミロマン」のようにアミロース含有率が高い一部の品種(3.1.1 参照)や「クサノホシ」のように米粉の糊化開始温度が高い品種(3.1.2 参照)では、パンが極度に硬くなる傾向がある(注2)。したがって、米粉パン用多収穫米品種の開発や選定においては、パンの形状にくわえ、成分の分析、パンの硬さや風味の評価を含めた製パン特性の検討が必要である。なお、米粉利用に適する多収穫米品種としては、「べこあおば」、「べこごのみ」、「夢あおば」、「タカナリ」、「北陸 193 号」、「ホシアオバ」、「クサノホシ」等があげられる。

5.2 玄米を用いる玄米粉パン

製粉コストの削減の点から、精米しないで玄米のまま粉砕し、玄米粉を製パンに用いることは有用な手段である。これまでは、玄米粉や米ヌカの製粉機・製粉ラインへの付着や粉残り、そして精白米の米粉パンと比較して不十分なパンの膨らみのために、玄米粉を用いた製パンの実用化が進まなかったと考えられている。そこで、気流粉砕前の玄米の吸水時間と製パン性の関係を検討したところ、損傷澱粉含有率は吸水時間の経過とともに低下し、12 時間以降は

注2 「クサノホシ」と「コシヒカリ」の糊化温度は、順に約 72℃ と約 67℃ である

図 6. 吸水処理と玄米粉パンの比容積および損傷澱粉との関係
(a) 玄米の吸水時間と玄米粉パンの形状, (b) 玄米の吸水時間と損傷澱粉含有率の関係。

ほぼ一定となった²¹⁾。これは、長時間の吸水により中心部まで吸水し米が軟化するため、粉砕されやすくなったためと考えられる。この玄米粉を用いてグルテン添加米粉パンを製造したところ、比容積は吸水時間 12 時間まで増大した後は一定に推移し、比容積は損傷澱粉含有率に対応した変化が認められた(図 6)。

玄米粉で製造したパンの食味は、白米パンと同等、ないしはそれ以上の評価が得られており、玄米特有の「甘み」のある食味と「しっとり」とした食感は特に良いと評価されている。成分組成の解析結果から、玄米粉パンの水分・タンパク質・エネルギー等の基礎成分は白米粉パンと同程度であるが、玄米特有の機能性成分が高含有率で存在する

ことが明らかとなった。 γ -オリザノールは白米粉パンの約16倍、総フェルラ酸が約3倍、食物繊維が約3倍であるなど、米粉パンの高付加価値化も可能であると考えられる。

6. 米粉麺等への利用

米粉麺には、高アミロース米品種が適すると考えられている。低アミロース米や中程度のアミロース含有率の米で作った米粉麺は、軟らか過ぎて麺がもつれる（「さばけ」が悪い）などの欠点があるのに対して、高アミロース米の麺は「さばけ」が良い特性がある。「越のかおり」（アミロース含有率、30～35%、遺伝子型は Wx^a かつ Alk 、3.1.2 参照）の麺は麺離れが良く、サッパリとして食感が良い特徴がある。「モミロマン」などの高アミロース米品種も、米粉麺に適すると考えられている。

米粉は、パンや麺以外にも様々な食材として利用できる可能性を秘めている。カリスマパティシエの造る米粉ロールケーキなどの洋菓子は有名であるが、その他にパスタや天ぷら粉、お好み焼き粉など、幅広い利用が行われつつある。

7. おわりに

世界の食料事情についてみると、BRICs等の経済発展に起因して穀物消費は拡大し、バイオエタノール等の穀物の非食用利用も増大している。そのため、穀物価格が大幅に上昇するばかりでなく、不作時に穀物の輸出制限等を行なう国も現れている。これらのことから、米以外の穀物を海外に依存する割合が極めて高い日本では、いつ食料不足になっても不思議ではないともいえる。

食料の自給率向上のための生産対策のポイントは、これまでにない新形質を有する米や多収穫米を栽培する水田の活用であり、米粉パン等への米粉利用はそのための方法として有効な方法と考える。米粉利用を推進するために「新規需要米」制度が制定され、米粉用米は平成20年の0.6万トンから平成23年の4万トンまで急増している。しかし、食料の自給率向上のためとしても、そして話題性のある米粉パンだとしても、消費者に美味しくなく高い米粉パンの購入を強いることはできない。消費者に喜んで購入してもらうには、美味しく、安く、そして安心して食べられる米粉パン等の米粉食品を製造することが肝要である。

本稿で記した多収穫米や玄米粉の利用は、小麦粉と比較し割高な米粉の価格を引き下げる効果が期待できる。また、タンパク質変異米は、米粉パンの風味向上と日持ち性に効果が期待できる。このようにアミロース含有率やタンパク質組成等の米の品質特性を理解するとともに、実需側の要望と評価を十分に把握することで、米の利点が消費者に受け入れられる品質と特徴を有する米粉パンが開発されると期待される。この開発に、糖質専門家集団である応用糖質学会会員のご協力を切望する。

謝辞

本稿で紹介した研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」（通称「加工プロ」）により実施した。本稿執筆の機会を提供していただいた本誌編集委員会に感謝する。

文献

- 1) 食料・農業・農村政策推進本部：21世紀新農政 2008～食料事情の変化に対応した食料の安定供給体制の確立に向けて～。 http://www.maff.go.jp/j/shin_nousei/pdf/all.pdf (2008)。
- 2) 高橋 誠, 本間紀之, 諸橋敏子, 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**, 394-402 (2009)。
- 3) 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**, 107-113 (2010)。
- 4) 江幡守衛：米のアルカリ崩壊性に関する研究 第1報, 白米のアルカリ検定法について。日作紀, **37**, 499-503 (1968)。
- 5) 梅本貴之：コメの食味に影響を及ぼすアルカリ崩壊性遺伝子 alk の多様性とその機能。農業および園芸, **80**, 960-968 (2005)。
- 6) M. Yano, K. Okuno, H. Sato and T. Omura: Chromosomal location of genes conditioning low amylose content of endosperm starches in rice, *Oryza sativa* L. *Theor. Appl. Genet.*, **76**, 183-189 (1988)。
- 7) A. Nishi, Y. Nakamura, N. Tanaka and H. Satoh: Biochemical and genetic analysis of the effects of amylose-extender mutation in rice endosperm. *Plant Physiol.*, **127**, 459-472 (2001)。
- 8) H. Yano: Improvements in the bread-making quality of gluten-free rice batter by glutathione. *J. Agric. Food Chem.*, **58**, 7949-7954 (2010)。
- 9) 矢野裕之：米粉100%（グルテン不使用）パンの新しい製造技術の開発。農林水産研究ジャーナル, **34**(4), 27-30 (2011)。
- 10) (独) 農研機構, 濱田茂樹, 青木法明, 鈴木保宏：麴等カビによる前醗酵工程を含む米粉パンの製法, 特願2010-266917, 2010-11-30。
- 11) Y. Onda, T. Kumamaru and Y. Kawagoe: ER membrane-localized oxidoreductase *Ero1* is required for disulfide bond formation in the rice endosperm. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **106**, 14156-14161 (2009)。
- 12) 川越 靖：米粉パンに適した鍵因子を探る—米粉用イネの画期的な品種開発を目指して。ブレインテクノニュース, **130**, 17-21 (2008)。
- 13) 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)。
- 14) 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および製パン性に及ぼす影響。食品総合研究所研究報告, **48**, 43-51 (1986)。
- 15) 有坂将美, 中村幸一, 吉井洋一：製粉方法を異にした米粉の性質。澱粉科学, **39**, 155-163 (1992)。
- 16) 中村幸一：製粉技術の現状と課題。技術と普及, **46**(3), 28-31 (2009)。
- 17) K. Ashida, S. Iida and T. Yasui: Morphological, physical, and chemical properties of grain and flour from chalky rice mutants. *Cereal Chem.*, **86**, 225-231 (2009)。
- 18) K. Ashida, E. Araki, S. Iida and T. Yasui: Flour properties of milky-white rice mutants in relation to specific loaf volume of rice bread. *Food Sci. Technol. Res.*, **16**, 305-312 (2010)。
- 19) H.-G. Kang, S. Park, M. Matsuoka, G. An: White-core endosperm floury endosperm-4 in rice is generated by knockout mutations in the C4-type pyruvate orthophosphate dikinase. *Plant J.*, **42**, 901-911 (2005)。
- 20) 農林水産省：新しい多収米品種—加工用米及び飼料用米等, 新規需要米の生産に向けて—http://kashikyo.lin.gr.jp/network/noyaku/H210420_pamphlet.pdf#search=%27%E5%A4%9A%E5%8F%8E%E7%A9%AB%E7%B1%B3%E5%93%81%E7%A8%AE%27 (2009)。
- 21) S. Hamada, N. Aoki and Y. Suzuki: Effect of soaking grain in water on the bread-making quality of brown rice flour. *Food Sci. Technol. Res.* (in press)。