米資源の高付加価値活用技術に関する研究

鬼 島 直 子

―　目　次　―

序章

１．世界の米と日本の米　1

２．日本における米の消費の現状と消費拡大の取り組み　2

３．世界の貿易における日本の米　3

４．食品製造における新しい米加工技術の重要性　4

５．初期投資が少なく取り組みやすい米粉製粉方法の開発　5

６．健康機能性を持つ原料としての米の可能性　9

７．研究の目的と各章の構成　10

引用文献　12

第１章　米粉生産の現状と加工利用促進のための米粉加工技術の開発

緒言　15

実験方法　16

第１節　山形県内で生産・流通している米粉の現状　20

第２節　乾式気流粉砕米粉の製パンにおける品質改善　26

要約　37

引用文献　38

第２章　水挽き米粉の製造技術の開発

緒言　39

実験方法　40

第１節　水挽きした米粉の回収率　43

第２節　水挽き米粉の粒度分布と顕微鏡による観察　45

第３節　浸漬温度を上昇させた短時間浸漬により得られた水挽き米粉の性状　53

第４節　水挽き米粉のDSC分析　60

小括　62

引用文献　63

第３章　水挽き米粉の加工活用技術の開発

緒言 66

実験方法 67

第１節　水挽き米粉を用いたグルテン添加パン加工とその品質 70

第２節　水挽き米粉に含まれるタンパク質 80

第３節　水挽き米粉を用いた菓子の試作 83

小括 87

引用文献 88

第４章　米糠麹を用いた健康機能性成分を含む食品素材開発

緒言 90

実験方法 93

第１節　各種麹菌を用いた米糠麹の特徴と酵素活性 97

第２節　各種米資材を用いた米糠麹の製造とその特性 102

第３節　米糠麹を用いた米糠甘酒の調製とその成分特性 108

小括 110

引用文献 111

総括 114

本研究の関連査読論文および研究業績 117

謝辞 118

序章　緒論

１．世界の米と日本の米

米は、小麦とともに直接人間が食料とする穀物であり、世界の多くの人口を支えている。米の発祥は、インド北西部からミャンマー、タイ、中国南部に連なる山岳地帯と考えられており、現在でも多くはアジアを中心に栽培されている。その他には、アメリカ、ブラジル、アフリカの一部でも栽培されている[1]。

世界全体の収穫面積は、160.6百万ヘクタール（2013／14年）、生産量は、4億7000万トン（2012／13年、精米ベース）である。生産量の多い国は、中国（1億4300万トン・2012／13年）に次いでインド、インドネシア、バングラデシュ、ベトナムと続いている[2]。日本は10位で、869万トン（玄米、2012年）であり[3]、日本の米の生産量は、世界全体の2％以下である。

世界全体の米の消費量は4億6600万トン（2012／13年、精米ベース）であり、消費の多い国は、中国（1億4400万トン）に次いでインド（9600万トン）、インドネシア、バングラデシュ、ベトナムと続いている[2]。日本は10位、867万トン（玄米、2012年）[3]であり、これは世界全体の消費量の2％弱になる。日本の米の生産量、消費量とも、世界全体では、わずかな量である。

また、日本で生産・消費されている米は、ジャポニカ種であり、世界で広く栽培されているインディカ種と異なる上に、非常に相同性の高い系統のみが、栽培されている[4]。

生産量の多い国の多くはインディカ米を栽培しており、

日本以外にジャポニカ米が栽培されている地域は、中国の東北部から華中にかけて、また台湾北部、朝鮮半島、アメリカ西海岸、エジプト、などである。

2. 日本における米の消費の現状と消費拡大の取組み

日本の食糧自給率は、平成 10 年度以降、カロリーベースで 40%以下まで低下しているが、主食であるコメに限っては 100%自給している。米は 1970 年から、生産調整を行っており、現在の消費量以上の供給も可能である。

しかし、一方で現在、日本人の米の消費は 1 人当たり年間 56.9 kg（平成 25 年度）とピーク時の 118.3 kg（昭和 37 年度）の半分以下にまで減少している[5)]。平成 22 年には、家計費におけるパンへの支出が米への支出を初めて上回った[6)]。この現状を受けて、農林水産省では、食料自給率アップに向けた国産農産物の消費拡大の取り組み FOOD ACTION NIPPON を平成 20 年度よりスタートさせた。食品の消費傾向が大きく変化している中で、米の消費を増やすには従来からの米飯としての利用だけでは限界があり、幅広い用途の開発が必要である。その一環として、新規用途への米粉の利用が推奨されている。新規用途米粉とは、従来の和菓子などに利用されてきた「上新粉」(うるち米の米粉）や「もち粉」（もち米の米粉）などとは異なり、パンや麺や洋菓子などの新しい用途に向けた米粉である。農林水産省では米粉用米の生産量を平成 32 年 50 万トンにするという目標を掲げている。新規用途米粉の生産については平成 25 年には 23,797 トンとなり、これは米粉生産量 90,362 トンのうち 26%を占め、新しい用

途への利用が増えている[7][8]。

3．世界の貿易における日本の米

世界的な関税撤廃、貿易の自由化の流れの中で、日本は2013年からTPP（環太平洋戦略的経済連携協定＝Trans-Pacific Strategic Economic Partnership Agreement）交渉に参加した。TPPが実施されれば、米の関税撤廃につながるのではないかと多くの生産者・農業団体はTPP参加に反対している。

2015年11月に大筋合意したTPP交渉12ケ国において、米の生産量と消費量が多いのはベトナムであるが、ほとんどがインディカ米である。次に生産量が多いのは日本で、アメリカは760万トンと、日本とほぼ同じ生産量[9]である。アメリカの消費量は約440万トン、輸出量は350万トン前後で、その多くはインディカ種であるが、カリフォルニア州産のジャポニカ種が70万トン輸出されている[9]。その半数が日本へのMA（ミニマムアクセス）米としての輸出である。

日本の米の国内価格は、アメリカの米の国内価格の3倍程度であることから、日本は魅力的な市場であり、日本の米の価格が国際取引に与える影響は大きい[9]とされる。

穀物の生産量は生産地域における米の競合作物（コーン、大豆、サトウキビ、綿花、小麦など）の市場価格にも影響される[9]ことに加え、近年、穀物がバイオエタノールの原料に利用されるようになってからは、原油価格の動向の影響をも受けるようになっており、その動きは複雑化している[10]。

また、現在はTPPに参加していないものの、日本の貿易にとって無視することのできない中国の動向を見ると、米の生産、消費共に増加している。中国では、インディカ種の主産地の南方産地が縮小しており、ジャポニカ産種の主産地の東北3省の生産が増大し、全体としては増産している[11)]。消費については、経済発展と所得向上に伴い、中国の人々の米に対する食味志向が強まり、粘りがあり、香り・食味が優れているジャポニカ種の需要が高まっていると同時に、小麦からジャポニカ米へのシフトが起こっており[11)]、米消費は増加している。

現状では、中国と日本の間の米の輸出入はごく一部にとどまっているが、今後の可能性としては、富裕層向けの日本産米の輸入と、日本の外食産業に向けた輸出の両方の可能性があると思われる。

以上のように、国際的に米の生産量、市場価格とも複雑な動きになっており、今後の予測は難しいものになっているが、このような情勢の中で、安価でそれなりに品質の良い米が日本に安定的に輸入されることになれば、米を原料とした食品製造業にとっては、ビジネスチャンスが増えると考えられ、食品加工技術はますます重要性を増すと思われる。現に、食品製造業者からはTPPを歓迎する声も多く聞かれている。

4．食品製造における新しい米加工技術の重要性

米の加工用途の主なものは、清酒、餅・米菓、味噌などである。この中で、清酒の消費は減少しているが、餅や米菓の消費はこの10年間現状を維持している[8,9)]。その理由

としては、簡便に食べられるということが大きいものと推測される。

高齢者から若い消費者まで、忙しい現代においては、簡便に食べられることが消費を伸ばし、逆に手間がかかるものは敬遠される傾向にある。米を粉にして、すぐ食べられる食品へ加工することは消費拡大の可能性につながると考えられる。

近年、日本食レストランが世界各地で急増し、日本食が健康で理想的な食生活スタイルとして注目を集めているとされる。すでに「醤油」などは、多くの国に普及している。2014年には、「和食：日本人の伝統的な食文化」が、ユネスコの世界文化遺産に登録された。2015年に開催された食の万国博覧会「ミラノ博」においても、日本食がたいへん注目を浴びたことが報道された。日本の食の世界におけるビジネスチャンスが広がっており、米粉を活用した食品にも新しい展開の可能性があると思われる。

また、今後の市場の開放により、日本の米の価格が大幅に下がる事態となった場合に備えて、価格競争に巻き込まれない米の生産への取り組みは重要であり、育種において良食味の高級品種、機能性成分などを含有した新形質米、特定の加工用途に特化した米の品種の作出が進められている。これらの多くは、食品加工技術と合わせた活用が必要であり、米の加工技術の開発は今後ますます重要性であると思われる。

5．初期投資が少なく取り組みやすい米粉製粉方法の開発

農林水産省では、雇用と所得を確保し、若者も子供も集

落に定住できる社会を構築するため、農林漁業生産と加工・販売の一体化や地域資源を活用した新たな産業の創出を促進するなど、農林漁業の6次産業化[12)]を推進している。農林水産物を有効に活用した地域ビジネスの展開を図るべく、各地で様々な取り組みがなされている。

6次産業化の推進における生産・加工・販売の一体化において、米の新規用途向けの製粉と、新規用途への加工に対して、大きな期待が寄せられた。

しかし、新規用途米粉の製粉とその加工利用については、乗り越えるべき課題がいくつもあり、これまでにも様々な技術が開発されてきた。

米の製粉においては、米の胚乳部分が小麦粉の胚乳に比べて硬く、小麦粉と同様の粉砕方法では細かい粉になりにくいという点が問題である。

小麦粉はほとんどが「ロール粉砕法」で製粉される。「ロール粉砕法」は、回転数や向きの異なる一対のロールに原料を通し、圧縮・せん断により粉砕する方法である[13)]。乾式と湿式の両方があるが、ほとんどが乾式であり、乾式のロール粉砕法で上新粉、小麦粉、そば粉などが粉砕され、湿式のロール粉砕法では和生菓子用の高級米粉の製造がわずかに行われている。この方法では粉砕される小麦粉の粒度が平均 80μm 前後であるのに対し、上新粉やもち粉の粒度は 150μm 前後と、米は細かい粉になりにくい。

米の粉砕には、「胴搗き粉砕」「気流粉砕」、「衝撃式粉砕」などの方法も用いられる[13)]。「胴搗き製粉」は臼と杵を連結させた装置を用い、杵（ハンマー）を落下させた衝撃により粉砕する[13)]。一方、「気流粉砕」は、数気圧の圧縮空

気やガスをノズルから噴射して気流を作り、原料粒子を相互または粉砕室内の壁面などにぶつけ粉砕する方法で、超微粉砕が可能である。気流粉砕においても、磨砕時の水の使用の有無で乾式と湿式に分けられる[14)]。「衝撃式粉砕」は、1本の軸に複数のハンマーが取り付けられ、高速に回転するハンマーの軌道上に原料を導入し原料をハンマーで打撃し、さらに粉砕室内の壁面にぶつけ粉砕するハンマーミルなどを使った方法や、回転する多数のピンとサンプルを衝突させて破砕するピンミルを使った方法などがある。粒度が粗く吸水性の低い米粉ができるとされる[14)]。

以上のような粉砕方法をとっても、粉砕された米粉は部分的に大きな粒を含むなど細かくなりにくく、さらに細かくするために再度粉砕を行うと、デンプン損傷度が高まるという問題も発生した。デンプン損傷度が高くなると、だんごなどの加工品を製造した際に、その品質が低下する[15)]。これらの問題解決のために、従来は鉱物の粉砕方法であった気流粉砕が用いられるようになり、新潟県食品研究センターでは、2段階製粉技術を考案し[15)]、パン製造に適した米粉の製造法として、酵素処理・気流製粉する技術を開発した[16)]。

こうした状況の中、山形県では、米粉用の粉砕機として開発・発売された小型の気流粉砕機が、補助事業等で県内各地に導入された。気流粉砕機は微粉砕に適しているものの小型といえども、500万円以上と高額であり、農家が自己資金で新たなビジネスを始めるには、ハードルが高い。

農業者自身が農産物を地域で活用した新しいビジネスを始めるにあたっては、初期投資が少なく、取り組みやすいことが重要であると思われる。

一方で、伝統的に米を粉にして食べている中国南部から東南アジアに目を向けてみると、それほど高価な機械を使わずに製粉を行っている様子が見られる。例えば、中国ではビーフン（米粉）、タイではクッティアオ、ベトナムではフォーと呼ばれる米粉麺が、安価な石臼を利用した水挽き法で粉砕した米粉より作られている。

米の胚乳は乾燥した状態では硬いものの、炊飯のために洗米した後の米は砕けやすいことからわかるように、水を吸水させることで柔らかくなる。水に浸した状態の米ならば、高価な粉砕機を用いることなく微細な米粉へと容易に粉砕できるものと考えた。小さな初期投資によって新たな農業ビジネスを展開し得るような、小型で安価な機械の活用による米粉の製造技術の開発は、米粉の利用促進に有益であると考えられた。また、米を粉にして加工することにより、新たな米の食べ方の可能性が広がると思われ、多くの人にとってより身近な方法で米を米粉にする方法を確立することが、米粉の利用を進める上で重要であると思われる。

水に浸した状態の米の粉砕技術の開発においては、乾いた状態では硬い米の胚乳が、水に浸すことで粉砕されやすくなる現象について、どのような条件で処理をすれば、微細で品質良好な米粉にできるのか明らかにする必要があると考えられた。

また、米粉は、用いた粉砕法によって、粒度や、吸水量

といった特性が変化し、その特性の違いによって、加工品の食感や硬さが変化することが明らかになっている[14]。一方、加工品によって適する米粉の品質も異なる。例えばパンの場合、デンプン損傷度が大きく、吸水量の大きな米粉は適さないことが報告されている[17][18]。同様に洋菓子用の米粉は、和菓子よりも粒度が細かいものが適していることが知られている。

6. 健康機能性を持つ原料としての米の可能性

日本においては、かつて食料が不足していた時代には量の確保が重視された。その後、生産量が十分になると、味などの品質が重視される時代となった。そこからさらに進んで、近年は健康に良い食物が求められる時代になっている。

食品の健康機能性に着目してそれを活かした新たな活用への取り組みは、米に関しても進められている。米の健康機能性成分は、表皮や胚芽（＝米糠）に存在しており、特に米糠にはデンプン以外の栄養素や食物繊維、健康機能性成分が豊富に含まれている[19]。

米に含まれる難消化性デンプンに着目した研究[20]、有色素米の色素を活用した食品加工[21]、米の栄養成分・機能性成分を強化した新形質米の開発[22]など様々な取り組みがある。

米を精白して食べるようになったのは、江戸時代とされており、それ以前は玄米のまま食べていた。現代では精白米を食べることが普通になっているが、その一方で、健康のためとあえて玄米を食べる人もいる。豊富に食物が

手に入る「飽食の時代」と言われるようになって久しく、便利になった生活で人々の活動量は減少し、多くの人が体重の増加やメタボリックシンドロームに悩む時代となった。最近のダイエット方法の流行は「糖質制限」であり、米については、「食べても太らない米」が求められているのかもしれない。このような考え方をすれば、これまで好ましくないものとされた食物繊維の多い米糠は、むしろ現代人に必要な成分であるかもしれない。

このように、食物繊維を多量に含み、ビタミンや機能性成分を豊富に含む米糠には、健康に良い食品の原料素材として大きな可能性があると考えられる。

7．研究の目的と各章の構成

従来の炊飯米としての消費だけでない米の新しい活用を進めるため、米粉の製造と加工に取り組みやすく、かつ高品質な米粉を作ることをめざして、小型の安価な食品加工機械を用いて水で浸漬した米を粉砕する製粉技術の開発に取り組んだ。さらに、米に含まれる健康機能性成分を活用するための技術の開発にも併せて取り組んだ。

第1章では、現状の新規用途米粉について、山形県内で生産・流通している米粉の品質について調査するとともに、新規用途米粉の粉砕方法として現在普及している「乾式気流粉砕米粉」をパン製造に活用する際の製パン性の改善を目的とした添加物の活用ついて検討した。

第2章では、小型の安価な粉砕機の利用を可能にするための水挽製粉方法の開発を試みた。水挽き粉砕によって、粒度の小さな、デンプン損傷度の低い米粉を調製する

ための米の浸漬条件について検討した。

第3章では、第2章で開発した水挽き米粉を使ってパンを焼成した時の、パンの品質について検討するとともに、菓子類の加工について検討した。

第4章では、米糠の食品としての有効活用のために、米と関わりの深い麹菌を用いて米糠麹の製麹について検討を行った。その中で、米糠に大量に含まれる食物繊維の構成成分であり健康機能性を持つフェルラ酸の効率的な抽出方法について検討した。

序章　引用文献

1） 丸山清明，イネの種類と栽培の歴史，米の科学，石谷孝祐・大坪研一編，朝倉書店，東京，2-8，（1995）

2） アメリカ農務省　世界の米需給

3） 平成 24 年度農林水産省食糧需給表（http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001117396、2015 年 12 月 28 日）

4） 丸山清明，米の種類と特性，米の科学，石谷孝祐・大坪研一編，朝倉書店，東京，9，（1995）

5） 平成 25 年度農林水産省食料需給表概算値（http://www.estat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001131797、2015 年 12 月 28 日）

6） 総務省「平成 23 年度家計調査」

7） 農林水産省「平成 21 年米麦加工食品の生産動態」

8） 農林水産省「平成 26 年度食品製造業動態調査」

9） 伊藤正一　TPP と世界のジャポニカ米ーその生産潜在性と日本の輸入の可能性，http://worldfood.apionet.or.jp/htdocs/1_ito.pdf（2011）

10） 伊藤正一，TPP と食料安全保障 - 世界の米需給の現状と潜在性，九州大学大学院生物資源環境科学国際シンポジウム資料，（2011）

11） 倪　鏡，中国における米生産と消費の動向についてー急速な進展を見せる「ジャポニカ米化」，社団法人 JC 総研研究員レポート，（2012）

12） 農林水産省「地域資源を活用した農林漁業者等によ

る新事業の創出等及び地域の農林水産物の利用促進に関する法律」（六次産業化・地産地消法）について http://www.maff.go.jp/j/shokusan/sanki/6jika/houritu/pdf/houritsu_g.pdf
13） 神田哲也，米粉の特徴と今後の展望，米粉食品－食品工業における技術開発とその活用法，食品工業編集部編，光琳，東京，59-64，(2011)
14） 輿座宏一，岡部繭子，島純，米粉利用の現状と課題―米粉パンについて―，食科工，Vol.55，No.10，444-454，(2008)
15） 吉井洋一，本間紀之，赤石隆一郎，中村幸一，微細米粉の製造技術と利用技術，微細米粉の製造技術と利用技術，日作紀，76（2），322-323（2007）
16） 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正（第1報）米の粉食化に関する研究，新潟県食品研究所研究報告，27，21-28（1992）
17） 荒木悦子，池田達哉，芦田かなえ，高田兼則，谷中美貴子，飯田修一，損傷デンプンの量と米粉の形状は米粉の製パン性に影響する，近畿中国四国農業研究成果情報，(2006)
18） 小河拓也，永井耕介，製粉方法が米粉の特性および製パン性に及ぼす影響，兵庫農技総セ研報（農業）59，19-23，（2011）
19） 橋本博之，米糠の機能性成分，新版米の事典・稲作からゲノムまで，石谷孝佑編，幸書房，東京，289-299，（2008）

20） 本間紀之、赤石隆一郎、吉井洋一、中村幸一、大坪研一，米および米加工品における難消化性デンプン含量の測定，日本食品科学工学会誌 Vol.55 NO.1 18-24，（2008）
21） 伊藤満敏，大原絵里，小林篤，山崎彬，梶亮太，山口誠之，石崎和彦，奈良悦子，大坪研一，有色素米の抗酸化能とポリフェノール量の測定，日本食品科学工学会誌 Vol.58，No.2 576-582，（2011）
22） 根本博，新形質米の品種開発の動向と生産・流通，農業技術体系 作物編第1巻，基 336 の 60-64，（2002）

第１章　米粉生産の現状と加工利用促進のための米粉加工技術の開発

緒言

近年、新規用途に向けた微粉砕米粉の利用が広がってきたものの、その特性を把握して、適した用途に使用するための技術情報は十分に普及しているとは言い難い。そのため、利用者には米粉は使いにくい、といった認識が広がっている。

米粉は小麦粉とは異なる成分を含んでいることから、小麦粉を原料としてきたパンや麺や菓子を作る際に、単純に小麦粉を米粉に置き換えて作っても、同様の品質にはならない。小麦粉には、グルテリンとグリアジンというタンパク質が含まれており、水を加えて捏ねると粘弾性を持つグルテンという物質ができる。小麦粉を用いてパンを作ると、このグルテンが網目構造を形成することによって、発酵により生じた気体を内部に閉じ込めて、ふっくらとしたパンができる[1)]。小麦粉の麺においては、グルテンの粘弾性が、「コシがある」と感じられる食感のもとになっている。米粉にはこのグルテンがないため、米粉を用いてパン、麺を作っても、小麦粉と異なった食感になり、別の物という印象の食品になる。

また、新規用途向けに開発された米粉は、伝統的な米粉である上新粉やもち粉、白玉粉等とは粒度などの特性が異なっており、米粉の製造方法によって、粉としての性質が異なる[2)]ことが示されている。

米粉の利用拡大のためには、上記のような米粉の特性

を正しく把握して、米粉に適した用途に使用することが重要であるが、こうした技術情報の普及は未だ十分ではない。

また、米粉製粉機に使われている粉砕機としては、気流式粉砕機、胴搗式粉砕機、水挽式粉砕機、衝撃式粉砕機、ロール式粉砕機、旋回気流式粉砕機などがある[3]。粉砕機の種類によっても米粉の性質は異なることが知られており、どの粉砕機による米粉であるかも用途開発において重要であるが、地域によって導入されている粉砕機に偏りがあり、新規の用途開発を制限する要因になり得る。

そこで、今回は山形県内で生産及び流通している米粉の種類・品質について把握し、加工活用に向けた資とするため、米粉を収集し、米粉の品質について調査を行った。

さらに、山形県内で多く生産・流通している米粉を取り上げ、製パン性の向上を図る方法について検討した。

方法

1．山形県内で生産・流通している米粉の調査

（1）対象の米粉と収集方法

県内で市販されている米粉について、調査・分析を行った。米粉は、米粉の利用推進のための研修会において情報を提供するために、山形県農林水産部新農業推進課（2012年当時）及び各総合支庁産業経済企画課の振興担当者が収集したものである。

（2）収集した米粉の分析項目

①　米粉の水分

米粉に含まれる水分量は常圧加熱乾燥法[4]（135℃、3

時間）により測定した。

② 米粉の粒度分布

レーザー回析式粒度分布測定装置 MASTERSIZER2000 により測定した。

③ 米粉のデンプン損傷度

米粉のデンプン損傷度は損傷デンプン測定キット(Megazyme 製)により測定した。

④ 米粉の電子顕微鏡による観察

米粉の形態については、走査型電子顕微鏡 JSM6301F(日本電子製）により測定した。

2．乾式気流粉砕米粉パンの卵添加による製パン試験

乾式気流粉砕米粉を用いた製パンにおいて、副資材として生卵を添加して、以下に示した手順でパンを焼成し、パンの品質を評価した。

（1） 材料と配合

配合を決める際に、添加する卵の水分と、タンパク質（スキムミルク）、油脂（ショートニング）の成分を調整して合計重量を合わせた場合（以下「調整区」とする）と、水分以外は調整しないで添加した場合（以下、「調整なし区」と記す。）の両方を試作した。なお卵の成分は日本食品標準成分表（五訂）の卵白（水分 88.4%、タンパク質 10.5%、脂質 0%）、卵黄（同 42.8%、16.5%、33.5%）、全卵（同 76.1%、12.3%、10.3%）を参考にした。卵の添加はあらかじめ水に全卵、卵黄、卵白のいずれかを分散させたものを他の材料と混捏することで行った。

グルテンは、㈱小川製粉の「0グル H-10」（国産小麦抽出グルテン）を使用した。

Table 1-1. Formation of baking bread test

Added material				Shortening	Skim milk	Water	Dry Yeast	Rice Flour + gulten	Granulated suger	Salt	Total Weight
Experimental plot		Addition ratio(%)	Additive amount(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
Egg yolk	Added without adjustment	3%	16.8	18.0	6.0	228.7	3.0	273.3	18.0	5.6	569.4
		5%	28.0	18.0	6.0	233.3	3.0	273.3	18.0	5.6	585.2
		8%	44.8	18.0	6.0	215.2	3.0	273.3	18.0	5.6	583.9
		10%	56.0	18.0	6.0	209.8	3.0	273.3	18.0	5.6	589.7
		15%	84.0	18.0	6.0	196.4	3.0	273.3	18.0	5.6	604.3
	Fat,Skimmilk adjustment	3%	16.8	12.0	3.2	230.4	3.0	276.7	18.0	5.6	565.7
		5%	28.0	8.6	1.4	225.1	3.0	276.7	18.0	5.6	566.4
		8%	44.8	3.0	0.0	217.0	3.0	275.2	18.0	5.6	566.6
Egg	Added without adjustment	5%	28.0	18.0	6.0	223.3	3.0	273.3	18.0	5.6	575.2
		10%	56.0	18.0	6.0	209.8	3.0	273.3	18.0	5.6	589.7
		15%	84.0	18.0	6.0	196.4	3.0	273.3	18.0	5.6	604.3
Contorol	-		-	18.0	6.0	238.5	3.0	271.5	18.0	5.6	560.6

Note : Gluten is included in 15% of the total flour(Rice flour+Gluten).

It is a Blanding of the water conyent of 9.8% of the rice flour

米粉は、山形県産「はえぬき」を原料とした市販米粉を使用した。乾式気流粉砕米粉として「米ふらわぁSはえぬき」(株)吉田製粉製)、湿式気流粉砕米粉として「米ふらわぁWはえぬき」(株)吉田製粉製)を用いた。

（2）製パン方法

油脂と水以外の材料をふるいに通した後に、水を加えてして軽く混合した。さらに油脂を添加して、ホームベーカリー(株)MK精工製 HB-100)で30分混捏した。焼き型は食パン用の一斤型「H125mm×L125mm×D125mm」を使用した。生地は混捏したものを全量使用し、発酵は、生地が型の高さになるまで40℃で50分間行った。焼成は200℃で32分間行った。焼成開始から10分間はスチームを併用した。

（3）焼成したパンの品質評価

焼成したパンは、静置して室温まで品温が下がってからポリエチレン製の袋に入れて密封し、25℃の部屋に保存し、焼成翌日に調査を行った。

① パンの体積

パンの体積は菜種置換法[5)]により測定した。体積と重さから比容積を求めた。

② パンの色

パンの色調は、内層（クラム）を測色色差計(株)日本電色工業製 ZE-2000)反射モード(φ10mm)で測定した。水分は、パンを2cm厚さに切り、切片の中央部を縦方向に1cm幅に切り、135℃3時間乾燥したのちの重量減少から求めた。

③ パンの硬さ

パンの硬さは、パン成型時のロール断面と平行に、パン中央部を2cm角で切り出した切片で、上、中、下部の硬さ

を測定し平均をとった（3片×3ケ所）。レオメーター（サン科学製 COMPAC-100型）の平板プランジャー（直径;25mm径）で、試料片を40%の歪率まで120mm／minの速度で圧縮し、最大応力（N/m^2）を測定した。

結果と考察

第1節　山形県内で生産・流通している米粉の現状

調査した米粉の水分含量は、8.5～15.2%の範囲に分布していた。適正な水分量は15%以下とされることから[6]、概ね適正な水分含量であった。（**Table** 1-1）。

平均粒度は、最も細かいもので33.7μm、最も粗いもので237.4μmであった。60～80μmの範囲になるものが11点と最も多く、90～120μmの範囲になるものが5点と次に多かった。上新粉と同じ程度の粒度の150μm以上のものが2点あり、ごく一部を除き新規用途米粉に適合する微細な米粉といえる粒度であった（**Table** 1-1）。

新潟県で策定した「新規用途米粉の用途別推奨指標」では、米粉のデンプン損傷率は12%以下が望ましく、米粉割合が高い食品を作る場合には、6%以下が望ましいとされている[6]。今回調査した米粉のデンプン損傷率は、2.5～3.5%の低い範囲にあるものは3点であり、8～10%のものは8点、10%以上が7点であった。全体としてデンプン損傷率が8～11%とやや多めの米粉が大半であり、望ましくないとされる12%以上の米粉は1点のみであった。

米粉パンは、小麦粉に米粉を添加した方式ではなく、米

Table 1-2. Quality of the rice flour in Yamagata Prefecture

No.	Milling method	Type or Breed	Rice flour moisture (%)	Average particle size (μ m)	Median Diameter (d 0.1)	(d 0.5)	(d 0.9)	Starch Damage rate (%)	labeling Recommended use
1	Wet-Airflow milling	*Haenuki*	11.7	33.7	8.0	29.2	66.3	3.5	Bakery confectionery
2	Dry-Airflow milling	*Haenuki*	11.4	79.6	15.8	62.1	132.4	13.0	
3	Dry-Airflow milling	*Haenuki*	10.5	72.8	11.9	59.6	153.5	9.6	
4	Own milling method	*Haenuki*	12.4	71.7	13.7	57.8	144.8	2.5	Bakery confectionery
5		Polished rice	8.5	62.1	10.2	58.1	121.5	11.8	For noodles
6		Sprouted brown rice	8.9	134.7	23.5	118.6	258.1	8.1	For noodles
7			13.9	62.1	10.9	49.2	132.7	6.2	
8	Dry-Airflow milling	Non-glutinous rice	9.0	77.8	10.4	60.4	172.5	9.6	
9	Dry-Airflow milling	*Tuyahime*	10.3	74.9	11.2	60.4	162.0	9.9	
10	Dry-Airflow milling	Non-glutinous rice	10.1	70.7	10.4	56.5	153.9	9.9	
11	Dry-Airflow milling	Glutinous rice	9.2	63.5	7.0	43.5	142.8	10.9	
12		*Haenuki*	8.8	100.8	11.5	91.4	208.4	10.8	
13			13.8	178.5	59.0	170.4	307.5	6.8	
14		Non-glutinous rice	13.1	118.8	17.3	106.6	236.6	9.5	
15		Non-glutinous rice	15.2	237.4	67.0	231.9	401.9	5.0	
16		Non-glutinous rice	14.3	106.0	23.6	102.4	185.5	10.1	
17	Dry-Airflow milling	*Haenuki*	12.2	113.8	13.9	92.0	246.7	8.1	
18	Dry-Airflow milling	*Haenuki*	13.4	98.4	14.6	82.6	206.1	8.5	
19	Dry-Airflow milling	*Sakata-mezuru*	11.3	73.2	9.9	55.8	163.2	10.1	
20		*Koshihikari*	13.8	117.7	16.3	101.6	242.2	7.8	
21		*Milky Queen*	12.7	61.9	16.2	45.8	124.5	10.2	

粉にグルテンを添加した配合の場合は、米粉割合の高い食品に分類されると推測され、デンプン損傷率6%以下の粉が望ましい。このため、山形県内で生産・流通している大半の米粉はこのようなパンへの加工には適していないと考えられた。

今回、山形県内で収集した米粉の平均粒度とデンプン損傷率の関係をFig.1-1に示した。米粉の平均粒度が小さくなるほど、デンプン損傷率は高くなった。これは、米粉の品質特性に関する既報[7]と一致していた。山形県内には、小型の乾式気流粉砕機が導入された生産拠点が多く、乾式気流粉砕による米粉が多く流通していることから、細かい米粉に粉砕するとデンプン損傷度が高くなってしまう乾式気流粉砕米粉の性質が反映されている結果と考えられた。

平均粒度が小さく、デンプン損傷率が小さい米粉が2点見られたが、これは、湿式の粉砕や独自で開発した粉砕方法による米粉であった。これらには、製菓用・パン用などとの表示がされていた。

米粉の粒度分布については、粗い粒子が残っていることがしばしば問題視されることから、$d_{0.9}$を見てみると、$d_{0.9}$が250μmを超える粉が数点見られた。これらは、十分粉砕できなかった粗い米粉が残っているためと考えられ、製粉後の篩通しを行うなど、製造工程の見直しが必要と考えられた。

米粉を電子顕微鏡で観察した写真を、Fig.1-2に示した。乾式気流粉砕と湿式気流粉砕の米粉を比べると、湿式気流粉砕の方がより細かい米粉になっており、乾式気流粉

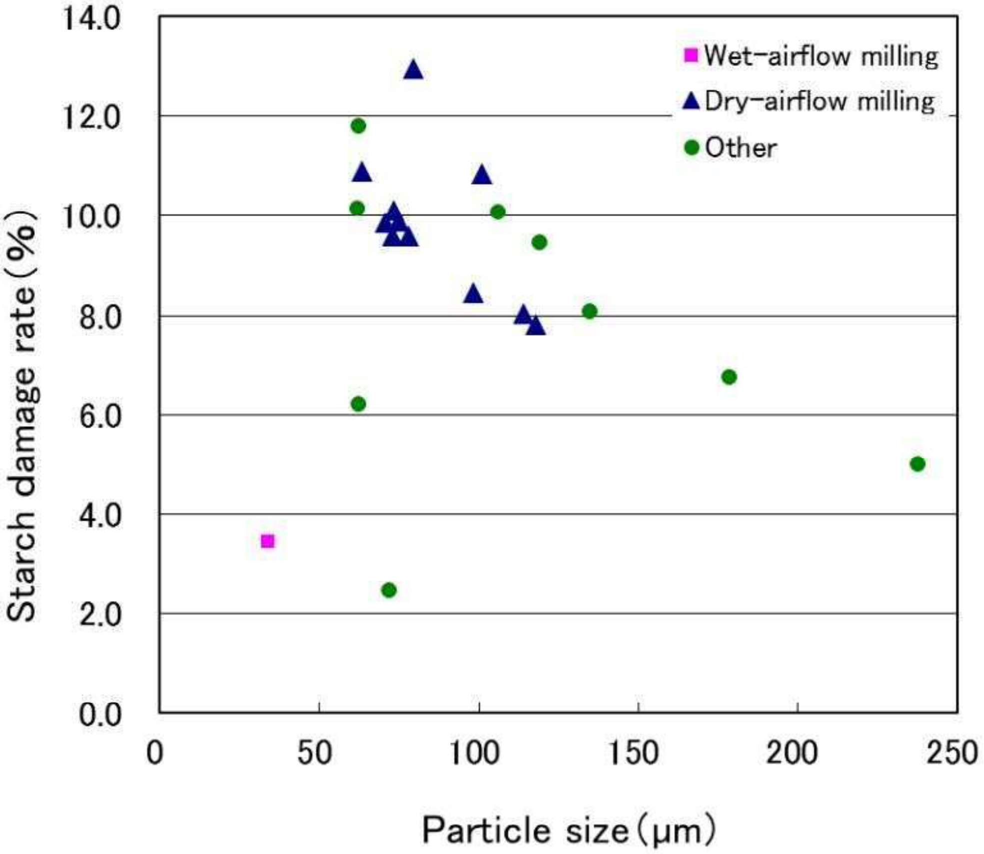
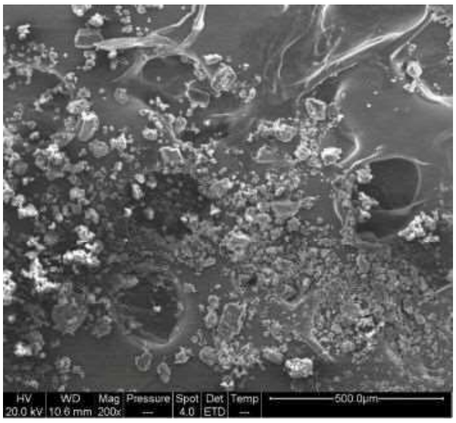
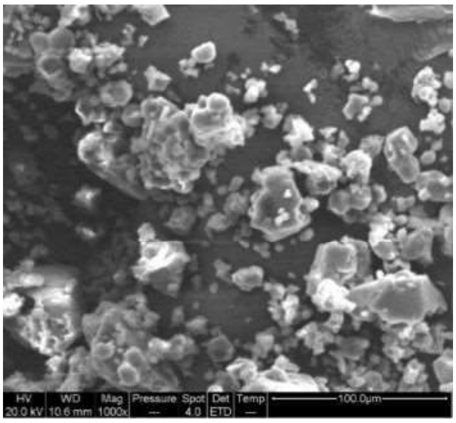
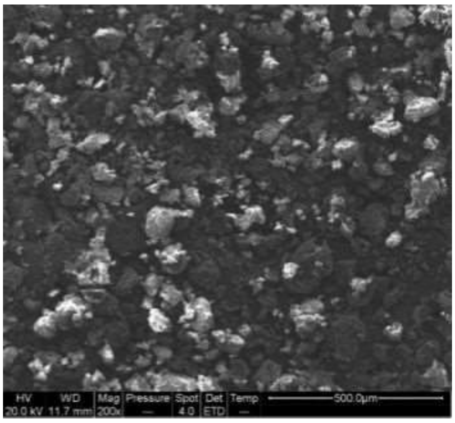
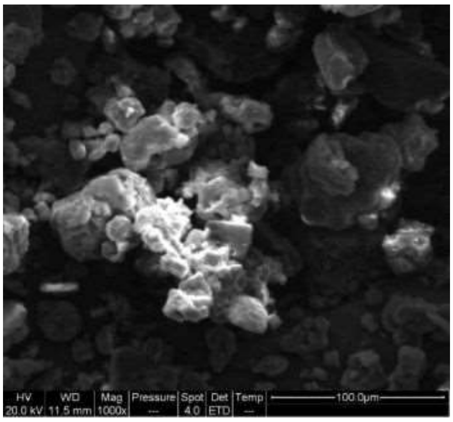


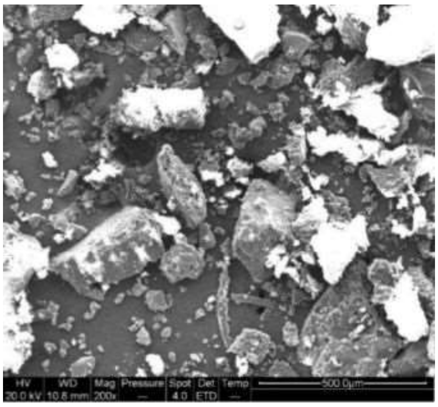
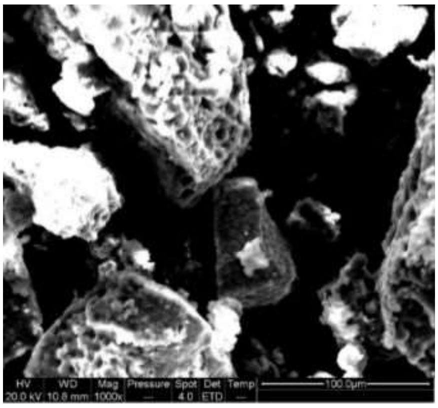
Fig. 1-1. Relationship of rice flour starch damage rate and particle size in Yamagata Prefecture

No.1(Wet-Airflow milling) 200×　　　　1000×

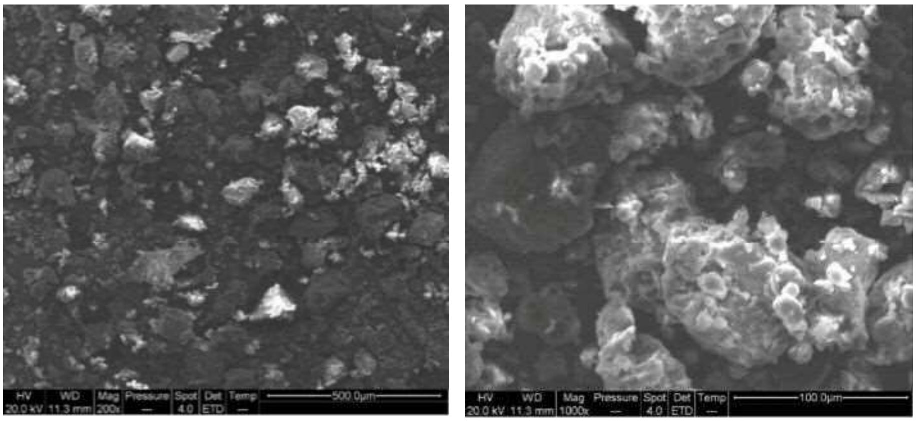



No.2(Dry-Airflow milling) 200×　　　　1000×

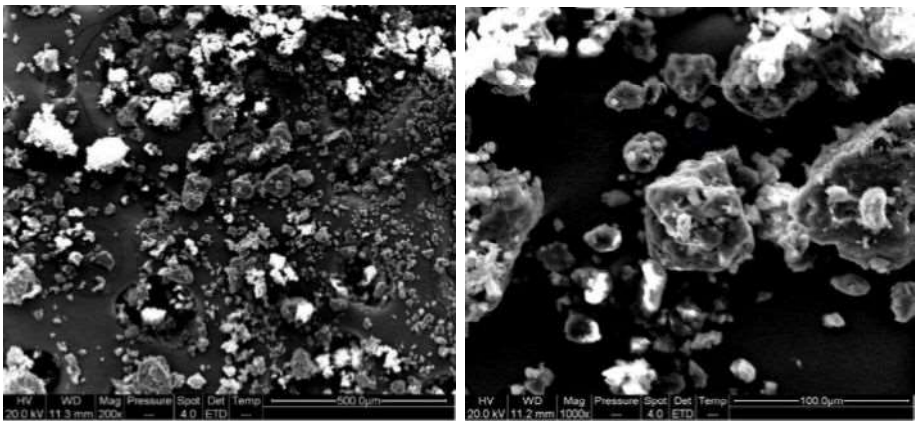



No.3(Applications noodles) 200×　　　　1000×

Fig. 1-2. Electron microscope image of rice flour in Yamagata Prefecture



No.15(Direct sale place)　200×　　1000×



No.18 (Dry-jet milling)　200×　　1000×

Fig. 1-2. Electron microscope image of rice flour in Yamagata Prefecture

砕の米粉は、粒子の表面が滑らかになっている様子が確認できた。乾式気流粉砕の米粉は、粉砕時の熱によってデンプンが損傷している様子がうかがえた。

第2節　乾式気流粉砕米粉の製パンにおける品質改善

前節において、山形県内で収集された米粉は、乾式製粉による米粉が多く、デンプン損傷率が高いことから、製パン用途には適さないと考えられた。

しかし、県内には乾式気流粉砕機が多く導入され、少ない単位で必要な分だけ製粉できることから、地場産の米、自家生産の米を製粉したい農家や地元農産加工グループなどに広く利用されている。

このため、デンプン損傷度の高い乾式気流粉砕米粉を活用する必要があり、副資材の添加によって製パン性の改善が図れないか予備的に検討した。その結果、卵に添加効果が見られたので、乾式気流粉砕米粉のパンに対する添加効果の詳細について検討し、最適な卵の添加量について調べた。

その結果、卵を添加することにより、全般に生地がやわらかくなり、特に卵黄添加で生地がべたついて成形しにくくなった。卵黄の添加量が3～8%では、生地がやわらかいものの成形が可能だったのに対して、添加量が10%以上になると、生地のべたつきが多くなり、成形が困難になるため実用性はないものと考えられた。

これに対して、全卵を15%添加した生地は、成形は可能であったがべたついて作業性は悪くなった(Fig.1-3)。実用

0% 5% 10% 15%

Fig. 1-3. State of the dough of egg-yolk and egg addition

的には10%までの添加が限界と考えられた。発酵は、標準区に比べて、卵を添加した区でやや早く進む傾向が見られた。
デンプン損傷率の異なる米粉（**Table 1-3**）でパンを焼成した際のパンの膨らみに関するデータを **Table 1-4** に示した。でんぷん損傷率の高い米粉で焼成したパンは、でんぷん損傷率の低い米粉のパンよりも膨らみが劣ることが示されている。

3～8%の卵黄を添加したパンの膨らみに関する結果を **Table 1-5** に示した。卵黄添加の区においては、成分調整区も無調整区も、パンの比容積は添加量が多くなるに従って大きくなった。製パン4回の平均では、対象区に対し、3%添加で1.04倍、5%添加で1.13倍、8%添加で1.17倍の比容積となった。米粉パンの比容積は卵黄の添加量が多くなるに従って大きくなった。**Table 1-6** に全卵を添加したパンの膨らみに関する結果を示した。対照区に対し、5%添加で1.07倍、10%添加で1.10倍、15%添加で1.19倍とパンの比容積は全卵の添加量が多くなるに従って大きくなった。

Table 1-7 に卵黄を添加したパンの水分、硬さ、色を示した。**Table 1-8** には全卵を添加したパンの水分、硬さ、色を示した。卵黄の添加では、硬さは添加量が多くなるに従って柔らかくなる傾向が見られた。色は添加量が多くなるに従って黄色味が強くなった。8%以上の添加ではカステラのような色合いとなった。

全卵の添加では、硬さに大きな変化は見られなかった。卵白を添加した製パン試験では、パンがやや硬さを増す傾

Table 1-3. Quality of rice flour used for baking bread test

Milling Method		Moisture content (%)	Particle size Average (μm)	Particle size d(0.5) (μm)	Starch damage rate	
Airflow - Milling	Dry	10.3	53.8	47.6	18.4	commercial goods
	Wet	11.9	37.8	32.7	5.0	commercial goods
	Dry	11.8	100.0	78.9	13.4	Milling in the YP2-350y (Yamamoto Seisakusyo)

Table 1-4. The difference in the swelling of bread with different rice flour of starch damage degree

	height	weight	volume		Specific volume		Starch damage rate	Average particle size
Milling method	(cm)	(g)	(cm^3)	Relative value	(cm^3/g)	Relative value	(%)	(μm)
Dry - Airflow milling	115.5	496	1280	(1.00)	2.58	(1.00)	18.4	53.8
Wet - Airflow milling	141.4	477	1615	(1.26)	3.38	(1.31)	5.0	37.8
Dry - Airflow milling	120.6	486	1351	(1.06)	2.78	(1.08)	13.4	100.0

Table 1-5. Swelling of rice flour bread of egg yolk

	Addition ratio(%)	Height (cm)	Weight (g)	Volume (cm^3)	Volume Relative value	Specific Volume (cm^3/g)	Specific Volume Relative value
Egg yolk	3%	126.7	479	1428	(1.03)	2.98	(1.04)
	5%	138.8	484	1573	(1.14)	3.25	(1.13)
	8%	145.8	484	1635	(1.18)	3.38	(1.17)
Control	-	124.8	481	1383	(-)	2.88	(-)

Breadmaking test four times average

Table 1-6. Swelling of rice flour bread of whole egg

	Addition ratio(%)	Height (cm)	Weight (g)	Volume (cm^3)	Relative value	Specific Volume (cm^3/g)	Relative value
Whole egg	5%	129.7	490	1416	(1.09)	2.89	(1.07)
	10%	132.3	500	1492	(1.15)	2.98	(1.10)
	15%	139.7	504	1621	(1.25)	3.22	(1.19)
Control	-	120.9	478	1294	(-)	2.71	(-)

Breadmaking test two times average

Table 1-7. Hardness and color of rice flour bread containing egg yolk

	Addition (%)	Moisture content (%)	Maximum stress (N/m^2)	Crumb color L*	a*	b*
Egg yolk	3%	41.3	3571	67.3	2.8	7.6
	5%	41.7	3592	65.2	1.2	11.8
	8%	41.7	2408	67.2	3.2	13.1
Control	0%	41.9	4571	70.8	1.8	5.1

Breadmaking test four times average

※ Light(100) ← L → (0) Dark

Red (+) ←a*→ (−) Green、Yellow (+) ←b*→ (−) Blue

Table 1-8. The quality of the bread of egg yolk addition

	Addition (%)	Moisture content (%)	Maximum stress (N/m^2)	Crumb color L*	a*	b*
Whole egg	5%	42.0	4143	68.4	2.6	11.1
	10%	43.0	4408	66.5	2.0	15.2
	15%	43.1	3673	65.0	1.6	16.0
Control	0%	42.7	3776	70.4	3.1	3.8

Breadmaking test four times average

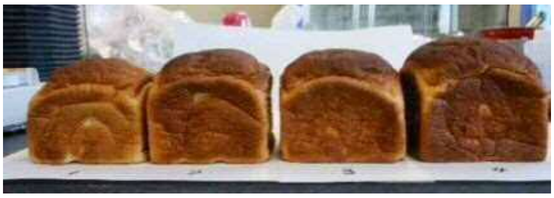
※ Light(100) ← L → (0) Dark

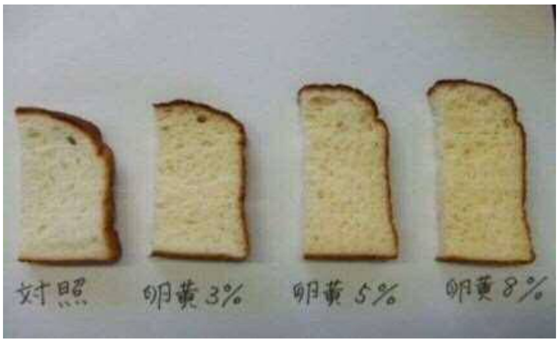
Red (+) ←a*→ (−) Green、Yellow (+) ←b*→ (−) Blue

向が見られた（データ省略）ことから、卵黄のパンを柔らかくする効果を卵白が相殺してしまうため、全卵添加では硬さに変化がないものと考えられた。米粉パンの色は卵黄・全卵とも添加量が多くなるに従って黄色味が増し、卵黄添加で８％、全卵添加で15％ではカステラのような色合いとなった。（Fig. 1-4.）

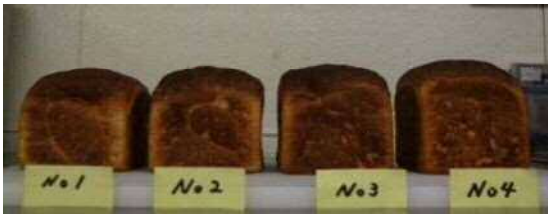
卵黄を添加した食味官能評価の結果を Table 1-9.に示した。米粉パンの色については、色調のデータと同様に卵の添加量が多いと着色の程度が大きくなり、5％以上の添加で有意に着色したと評価された。卵のにおいについては、卵黄の添加量が多くなるとにおいがあると評価された。しかし、食味、食感、総合的な食味の評価については、卵黄添加により低下することはなかった。

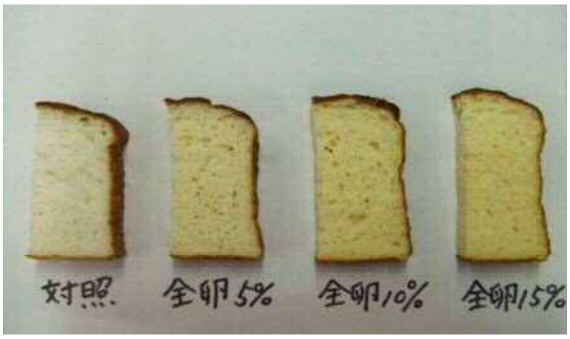
以上のことから、膨らみが良く、食味の評価が低下することがなく、米粉パンとして自然な色調を示す適切な添加量は、卵黄３～５％、全卵５％と考えられた。





Egg yolk addition bread





Whole egg addition bread

Fig. 1-4. Appearance of bread baked by the addition of eggs

Table 1-9. Sensory evaluation of rice flour bread containing egg yolk

Experimental plot	Appearance ・Color	Egg Flavor	Texture	Taste	Comprehensive evaluation
Egg yolk 3 %	-1.00	0.23	0.77	0.31	0.31
Egg yolk 5 %	-1.62 **	0.69	0.54	0.31	-0.23
Egg yolk 8 %	-2.38 **	0.85 *	0.31	0.08	-0.38

None yolk was evaluated in the subject (n =13)
* There is a significant difference at the 5% level in the Bonferroni test
** There is a significant difference at the 1% level in the Bonferroni test
Color : colored (−3) — same (0) — white(3)
Egg fraver : same(0) — feel strongly (3)
Texture : hard (−3) — same (0) — Fluffy and soft (3)
Other : inferior (-3) — same (0) — superior (3)

第１章　小括

今回調査した山形県内で流通している新規用途米粉のうち約半数は、平均粒度 60～80μm と概ね適正な範囲にあった。デンプン損傷率については、調査した 21 点のうち 16 点が、高めの 8～12％の範囲にあった。パンに適しているとされる、粒度が細かく、デンプン損傷率が低い米粉は 2 点と約 1 割であった。

おおむね新規用途米粉として適正な範囲にあるものの、パンのような米粉割合の高い米粉加工品には向かない米粉が多いことが示された。

また、卵黄、全卵の添加により乾式気流粉砕米粉を用いてパンを焼成する際に、品質の改善が確認できた。焼成したパンの膨らみが改善され、かつ米粉パンとして自然な色調を示す適切な添加量は、卵黄の場合３～５％、全卵の場合５％と考えられた。卵黄添加により、パンはやや柔らかくなる傾向にあり、全卵添加では大きな差はなかった。ふくらみ改善の効果は、比容積が約 10％程度増加し、特に卵黄の影響が大きかった。これは卵黄が有する乳化活性に依存するものと推察された。

第1章　引用文献

1）荒木悦子，芦田かなえ，青木法明，高橋誠，米粉パンに適する米粉特性の見分け方と品種選択，食品加工総覧　素材　第9巻　追録7号　総論，農文協，東京，122-18－122-24　(2010)

2）吉井洋一，新用途米粉（米穀粉）－加工方法と施設・資材，食品加工総覧　第4巻　追録7号　総論，農文協，東京，500-38－500-43　(2010)

3）萩田敏，米粉製粉機械の特徴，米粉－米粉の知識とメーカーの取り組み事例，日本食糧新聞社，東京，19－22　(2012)

4）安本教傳，五訂日本食品標準成分表分析マニュアル，建帛社，東京　(**2006**)

5）内田迪夫，パンの品質-品質評価法 - 官能的評価法，製パンプロセスの科学(第3版)，田中康夫・松本博編，237，光琳，東京，237　(2008)

6）新潟県農林水産部，「新規用途米粉の用途別推奨指標」，(2012)

7）Araki E., Ikeda T., Ashida K., Takata k., Yanaka M and Iida S., "Effects of Rice Flour Properties on Spesific Loaf Volume of One loaf Bread Mede from Rice Flour with Wheat Vital Gluten." *Food Sci. Technol. Res.*, 15 439-448(2009)

第２章　水挽き米粉の製造技術の開発

緒言

米粒は、外層と内層の硬度が異なり、組織が密な外層は硬く、従来から用いられてきたロール製粉やピンミルなどの製粉方法による米粉は粒子径が粗いことが知られている[1)]。そのため小麦粉並みの微細な粒子に製粉するためには、乾式気流粉砕が利用されている[2)]。しかし、乾式気流粉砕米粉では、粒子径が小さくなるにつれて、デンプン損傷度、糊化度、飽和吸水量のいずれもが高くなる傾向にある[3)]。デンプン損傷度や吸水量の高い米粉は、パン等へ加工する際に膨化が劣る[4)]などの問題点を有している。

一方、米は水に浸漬すると吸水によって軟化し[5)]、砕けやすくなる。東南アジアでは、米麺を加工するために、水にあらかじめ漬け置きした米を石臼などで挽いた後に、水を搾り米粉加工品としている[6)]。貝沼らは、水に浸漬した米を擂り潰し「米ペースト」とし、そのままパン生地に添加することを試みている[7)]。この「米ペースト」は、粒径が 6 μm付近でデンプン微粒子と同程度となり、吸水量も乾式気流粉砕で得られた米粉よりも少ないことが、示されている。また、この米ペーストは、乾式気流粉砕で調製される米粉よりもデンプン損傷率が低いことも示されている[8)]。

米は十分な水分の存在下で粉砕し、遠心脱水等の方法で水分を低減化することで、高品質の高水分含有の米粉を低コスト、簡便に製造できるものと考えられた。このような水挽きの米粉としては、もち米を原料とする白玉粉

が知られている[9]が、製造条件等に関する報告は少なく、白玉粉の粒子の特性と水挽時のクリアランス(石臼の上下の間隔)、回転数の関係についての報告[10]にとどまっている。

そこで、小型の数種の機器を用いて水に浸漬した米を粉砕する試験を行って、各種の水挽き米粉を調製して、歩留りとおおよその粒度分布を測定した。この結果、最も細かい米粉を作ることができた磨砕方式の電動セラミック臼を用いて、微細な米粉を調製する方法を検討することにした。

水に浸漬して吸水させたうるち米の精米を、電動石臼で粉砕し、遠心脱水機で脱水することによって高水分水挽き米粉を調製し、米粉の収量、デンプン損傷率に及ぼす米の水浸漬の時間・浸漬水の温度の影響について検討し、うるち米を用いた高水分下にて米粉を調製する方法の開発に取り組んだ。

実験方法

1. 材料

米は、平成24年度に山形県農業総合研究センターで栽培された「はえぬき」を用いた。

2. 水挽き米粉の製粉方法

通常の搗精歩合で搗精した精米を、洗米して一定時間水に浸漬して吸水させた。吸水後、ざるに移し十分に水が落下したのちに、吸水後の精米の重量を測定した。浸漬米と水を足して、吸水前の精米の重量の2倍になるように水を加え、同時にホッパーに流し込みながら(Fig.2-1)、

Fig. 2-1. State of the millstone machine and water milling.

電動セラミック臼(「サワーボーイ」:株式会社長沢製作所製)を用いて、米を粉砕した。この電動セラミック臼の回転数は、1400rpm(50Hz)であった。

粉砕後のスラリー液は、孔径約 250 μm の裏ごし器を通して、吟醸用搾り袋(綿 2B 折径 270×H850 mm)に受けて、袋の口をゴムで縛り、搾り袋に入れた状態で 2 時間程度、自然落下によって水を切った後、遠心脱水により脱水して、得られた米粉を水挽き米粉とした。

この粉砕試験は、パイロットプラントスケールで実施しており、繰り返しは2回とした。

3. 水挽き米粉の品質測定

(1)水分量の測定:上記で得られた水挽き米粉について、常圧加熱乾燥法(105℃、5 時間)[11]により、水分量を求めた。

(2)米粉粒子表面の観察:水挽き米粉の表面の状態を、走査型電子顕微鏡(SEM)を使って観察した。乾式気流粉砕米粉や湿式気流粉砕米粉も同様に観察し、比較した。これらの米粉は、市販の米粉を用いた。乾式気流粉砕米粉は、水分 15%程度の原料を気流粉砕機で粉砕した製品であった。湿式気流粉砕米粉は、水に浸漬して十分に吸水させた原料を、気流粉砕機で粉砕し、水分 12%程度まで乾燥させた製品であった。

(3)損傷デンプン量の測定:Megazyme 社製の「損傷デンプン測定キット」を用い、α-アミラーゼで分解可能な糖量を測定することで、デンプン損傷率を求めた。

(4)米粉の粒子径の測定:米粉の粒子径は回折・散乱法粒度分布測定装置(LS13 320、Beckman Coulter, Inc.)

を用いて測定した。

（5）米粉の熱分析：米粉の示差走査熱分析は、島津製作所製 DSC-60 にて測定した。昇温速度 4.0℃／min で行った。

結果と考察

第1節　水挽きした米粉の回収率

はじめに、予備的な検討として、小型の数種の機器で水に浸漬した米を粉砕する試験を行って、各種の水挽き米粉を調製して、歩留りとおおよその粒度分布を調査した。その結果、カッターせん断方式のフードプロセッサーやブレンダーよりも、磨砕方式の電動セラミック臼の方が、250μm 篩を通過する米粉の収量が良く、その米粉の大半は 75μm 以下の粒子になっていることが確認できた。このため、磨砕方式の電動セラミック臼を用いて、微細な米粉を調製する方法を検討することとした。

次に、水挽きによって高水分米粉を調製する際の浸漬条件を明らかにするために、まず米を室温（20～25℃）にて浸漬して、米粉の回収率と水分含量に及ぼす浸漬時間の影響について検討した。水挽きの作業中の観察では、80 メッシュの篩上に残る未粉砕物はごくわずかであり、浸漬時間によって大きな差は見られなかった。米1kg を供試して種々の時間浸漬したのちに粉砕し、水切り後に得られた水挽き米粉の回収率は、94.1～97.8%であった（Fig.2-2）。米粉の回収率は浸漬時間が長くなるにつれてやや大きくなる傾向が見られた。これらの米粉の水分含量は 42.9～45.9%

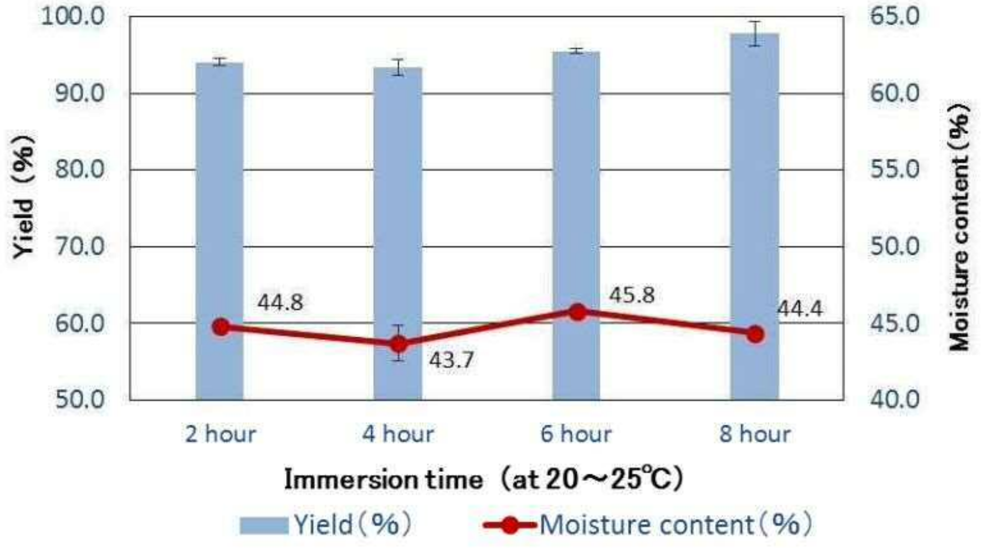


Fig. 2-2. Yield and moisture content of rice flour milled with water

であり、2～8時間の浸漬時間の範囲では、浸漬時間の違いによる水分含量の変化は見られず、ほぼ一定であった。(Fig. 2-2.)。

以上のように2時間以上の浸漬時間では米粉の回収率は一定で浸漬時間の影響は見られなかった。

そこで、より短い浸漬時間で吸水させた米について水挽き粉砕を試みた。室温で短時間浸漬したのちに水挽き粉砕を行うと、ごく短時間の浸漬時間では、篩上に残る粗い残渣が増えるとともに、搾り袋から流出する液が白濁して、水中に流出する成分も増えている様子が観察された。浸漬時間が15分、30分、45分と増加するに従って、30メッシュの篩上に残る粗い残渣は減少し、搾り袋から流出する液の白濁も徐々に少なくなった。

得られた米粉の回収率、米粉の水分含量をFig.2-3.に示した。米粉の回収率は浸漬なしの47%に対して、15分の浸漬で87%と大きく上昇した。30分以上においては、90%以上の値でほぼ一定となった。

これらの米粉の水分含量は、浸漬時間0分では、56.4%であったのに対して、浸漬時間が長くなるに従って、水分含量が低下し、60分と130分では45%とほぼ一定となった。これらの結果から米粉の回収率の面からは、浸漬時間として常温では30分程度で飽和するものと考えられた。30分以上、水に浸漬することで、米は微細な粒子に粉砕されるまでに柔らかくなっていると考えられた。

第2節　水挽米粉の粒度分布と顕微鏡による観察

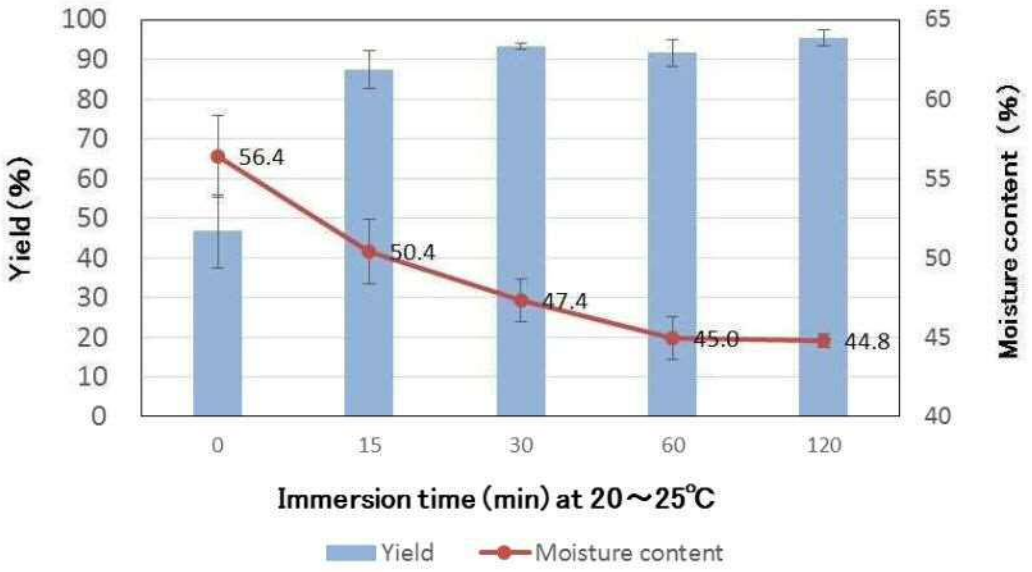


Fig. 2-3. Yield and moisture content of rice flour milled with water after short time soaking.

浸漬時間を変えて水挽き米粉を調製し、得られた米粉の収量と水分含量について検討した結果、室温で30分以上浸漬することで回収率が高くなることが示された。そこで、次に水挽き米粉の粒度について検討した（Fig. 2-4.）。得られた水挽き米粉は、6 μm付近に大きなピークを持ち、さらに30、80 μmにピークを持つブロードな分布を示した。10 μm以下の粒子が大部分を占め、粗い粒子がわずかに存在していることが示された。米のデンプン粒は、微小な単位粒子が集まって形成されており、その単位粒子の大きさは、5～10 μmとされている[12]。このため水挽き米粉の粒度分布において大きなピークを示した6μmはこの米デンプンの単位粒子に相当するものと考えられた。

浸漬時間を0.5～1時間とした水挽き米粉の粒度分布は、2時間吸水させたものとほぼ同じ傾向であり、浸漬時間の違いによって、粒度分布が大きく異なることはなかった。粒度分布の結果からは、短時間吸水後の水挽きによっても、粒度分布に差異が少ないことが示された。この粉砕方法では、米の粒子はそろって細かくなり、浸漬時間の違いによって粒子の大きさに違いが出ることはないと考えられた。

さらに、これらの米粉を電子顕微鏡で観察した（Fig. 2-5.）。比較のために乾式気流粉砕米粉と湿式気流粉砕米粉についても観察を行った。3000倍で観察したところ水挽米粉は、乾式気流粉砕米粉や湿式気流粉砕米粉に比べて、非常に細かく、しかも分布が狭く粒がそろっていることが観察できた。乾式気流粉砕米粉は、粒子が大きいものと細かく砕けた部分が混在しており、高倍率で観察すると、表面が熱で溶けた様子がうかがえ、デンプンの複粒構造が観察で

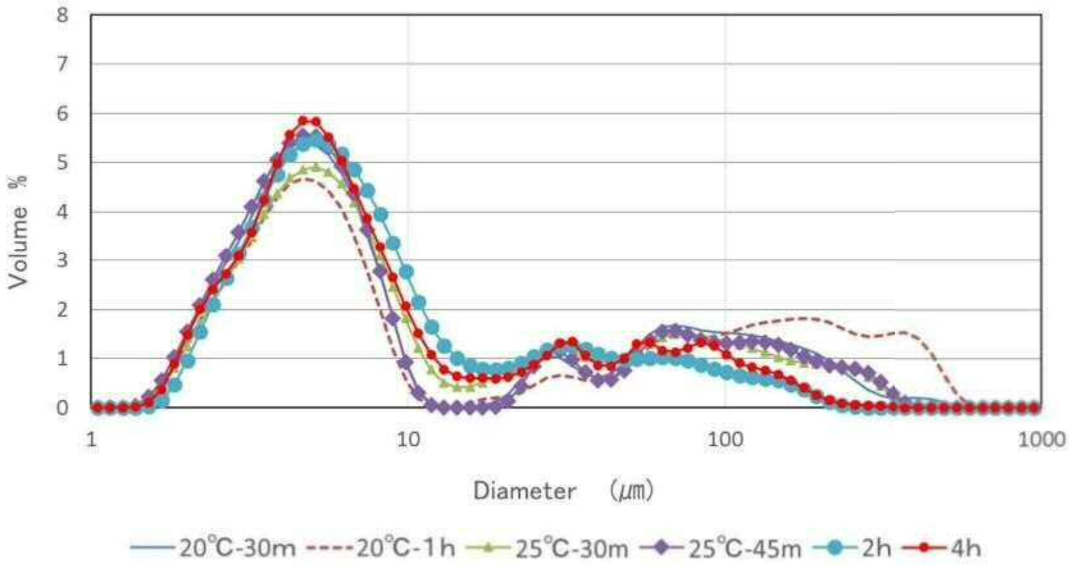


Fig. 2-4. Particle size distribution of the rice flour milled with water.

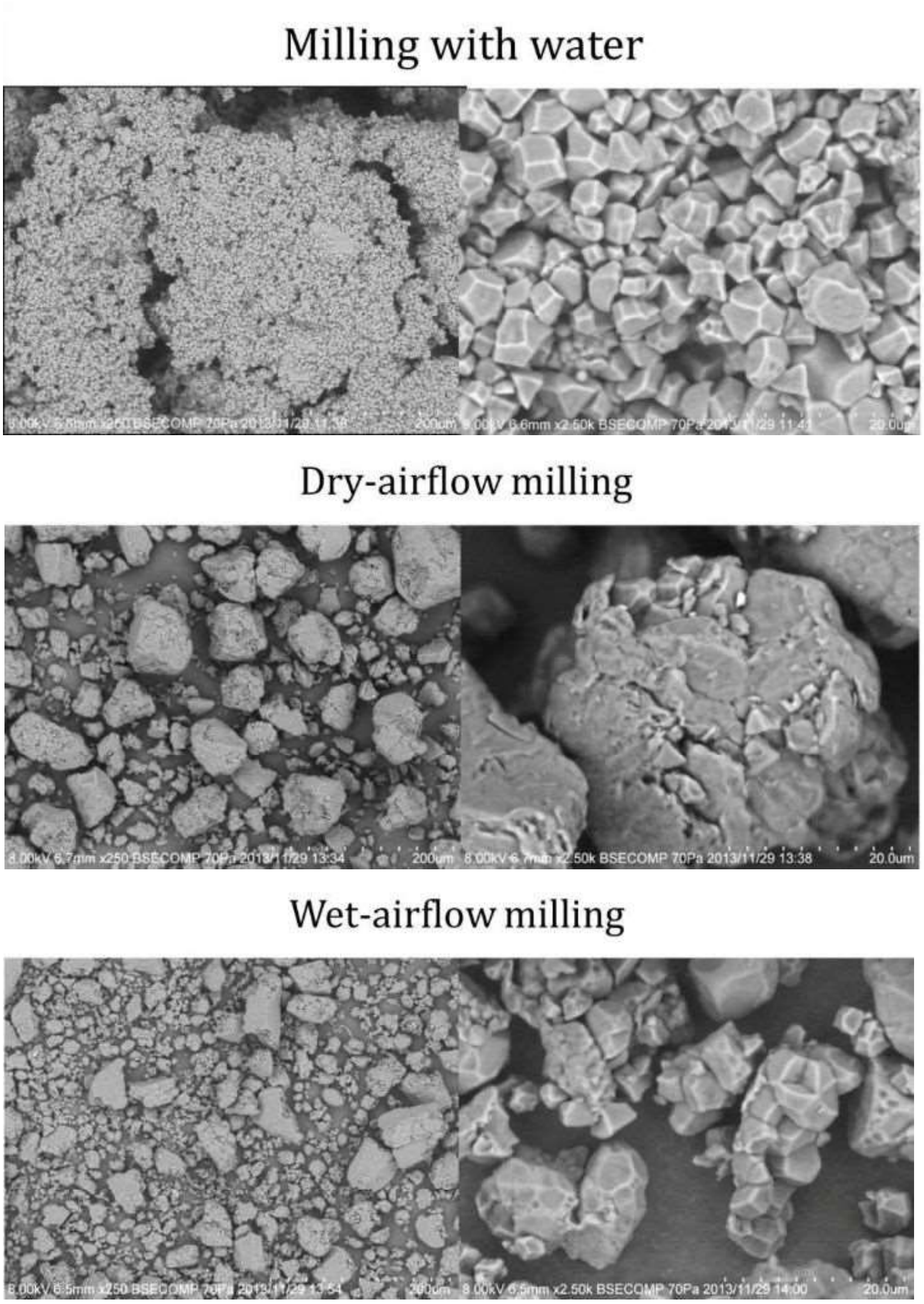


Fig. 2-5. Shape of the particles of rice flour milled with water .
(Comparison:Dry-airflow milling Wet-airflow milling)

きなくなっていた。湿式気流粉砕米粉は乾式に比べるとやや細かくなっていて、乾式よりは粒がそろっており、倍率を上げた観察でも、米粉表面の溶けたような様子は見られず、デンプンが複粒になっている様子が観察できた。水挽米粉の10000倍における観察では、5～10 μmの多面体様の粒子が観察された。水挽きによって、デンプンが損傷することなく単粒子に近い状態に粉砕されているものと考えられた。このように水挽き米粉の粒子は、非常に細かく、粒がそろっており、その形態はデンプン単位粒子に非常に類似したものであり、米粉の多くがデンプン単位粒子にまで細かくなっていることが、顕微鏡観察からも推察された。

貝沼らは、冷蔵下で10時間浸漬した後にマスコロイダーにより調製した「米ペースト」は、デンプン単粒と推察される粒径6 μmと小さい均一な粒子であることを報告している[7)] [8)]。本研究では、室温浸漬の場合、より短時間の浸漬によって同様の微細な米粉を調製することが可能であることを示すことができた。

これら水挽き米粉は、乾式気流粉砕及び湿式気流粉砕の米粉の粒子[3)]に比べて、はるかに小さい微細な米粉であり、その性質も異なるものと考えられる。

以上のように水挽き米粉を調製するための浸漬条件について回収率、粒径、デンプン粒子の形状の面から知見を得ることができた。湿式粉砕の特徴として、デンプン損傷率の低さが挙げられる[13)]。

そこで次に浸漬時間を変えて調製した水挽き米粉のデンプン損傷率を乾式気流粉砕及び湿式気流粉砕の米粉と比較した（Table 2-1.)。乾式気流粉砕及び湿式気流粉砕の米粉

Table 2-1. Starch damage rate of rice flour prepared by various methods

Rice flour	Immersion time(min)	Starch damage rate (%)
Dry - airflow milling(Coarse)	—*	8.9
Dry - airflow milling (Fine)	—*	11.8
Wet - airflow milling	—*	3.5
Milling with water	20	4.2
Milling with water	35	2.5
Milling with water	50	1.8
Milling with water	65	1.9

* No immersion was occurred before milling.

のデンプン損傷率はそれぞれ 10%前後、3.5%を示していた。これに対して、水挽き米粉のデンプン損傷率は、浸漬時間がごく短い 20分の場合は 4.2%と乾式気流粉砕よりは低いものの、湿式気流粉砕よりは若干高い値を示すことがわかった。さらに浸漬時間を延長すると 50 分以上で約1.8%となり、湿式気流粉砕の米粉よりも低くなった。水挽きによる粉砕で得られた米粉は、浸漬時間を 50 分以上とることで、乾式気流粉砕及び湿式気流粉砕の米粉よりもはるかに小さい微細な米粉となるうえに、デンプン損傷率も非常に低いことが示された。

極短時間の浸漬の場合、デンプン損傷率が比較的高かった点については、精米組織の内部まで吸水していない状態で磨砕することで、部分的に水分含量の低い乾式粉砕と類似した状況となり、その部分における局所的な温度上昇によって、デンプンの損傷が引き起こされた可能性もあるものと推測された。磨砕時にデンプンの損傷が発生すると、損傷部分での保水性が向上するうえに、水への溶解性が高まることから、部分的に損傷したデンプンが水中に流出しており、回収率が低下し、かつ回収できた米粉の水分含量が高くなったものと考えられた。

松元らの報告によれば [14)]、水温 22～26℃で米を浸漬すると、吸水量は 40分で 22%、60分で 23%となり 40分で既に飽和に達している。さらに、関らの報告 [15)] では、浸水30 分までに飽和量の 90%以上の水が吸水されており、60分後には 92～96%の米粒が顕微鏡観察上吸水を終えていることが示されている。一方、吸水した米粒のかたさは 30分以上の浸水操作により大きく低下し、2 時間以上の浸水

で一層柔らかくなるとされた。今回の検討の結果、米粉の回収率が高く、デンプンの損傷率が低くなる浸漬時間が、室温（20～25℃）において1時間前後であったことは、これらの報告における飽和吸水に要する時間とほぼ一致しており、米粒内に水が十分量吸収され、均質に分布することが回収率の向上とデンプン損傷率の低下にとって必要であるものと考えられた。

第3節　短時間浸漬を行った水挽き米粉の性状

浸漬水の温度を上げることにより、より短い時間で飽和吸水状態に達し、浸漬時間の短縮が図れるものと考えられた。そこで、浸漬水の温度を変えて浸漬を行い、得られた水挽き米粉の回収率、水分含量、粒度分布及びデンプン損傷率を比較した。

30℃及び40℃で浸漬を行った後、水挽きした米粉の回収率と水分含量を、Fig. 2-6.に示した。30℃で15分浸漬した後に、水挽きした米粉の回収率は、75.1%、30分では98.4%となり、30分の浸漬で高い回収率が得られた。この傾向は40℃の場合も同様であった。水分含量においても15分の浸漬では30℃で49.4%、40℃で51.3%であったが、浸漬時間を30分とすると、30℃では44.7%、40℃では45.3%と低下し、さらに浸漬時間を延長してもほぼ一定の値となった。30℃と40℃を比較すると、30℃の方が、水分含量は低く、回収率もやや高かったが、ほぼ同程度と考えられた。30℃、40℃で浸漬した後に水挽きした米粉の粒度分布をFig. 2-7.に示した。最も大きな分布は6 μm付近に観察さ

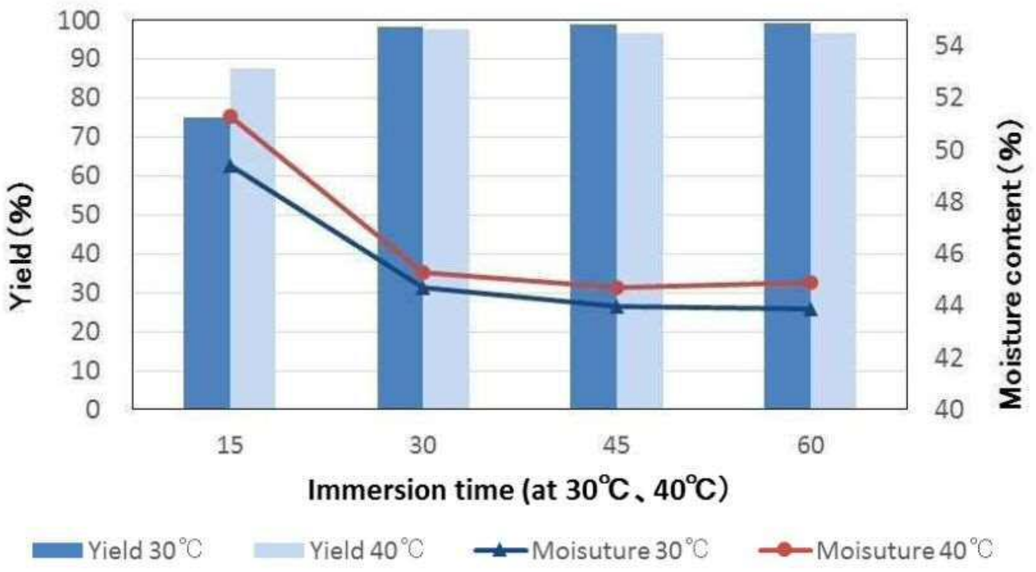


Fig. 2-6. Yield and moisture content of flour milled with water after soaking at higher temperature.

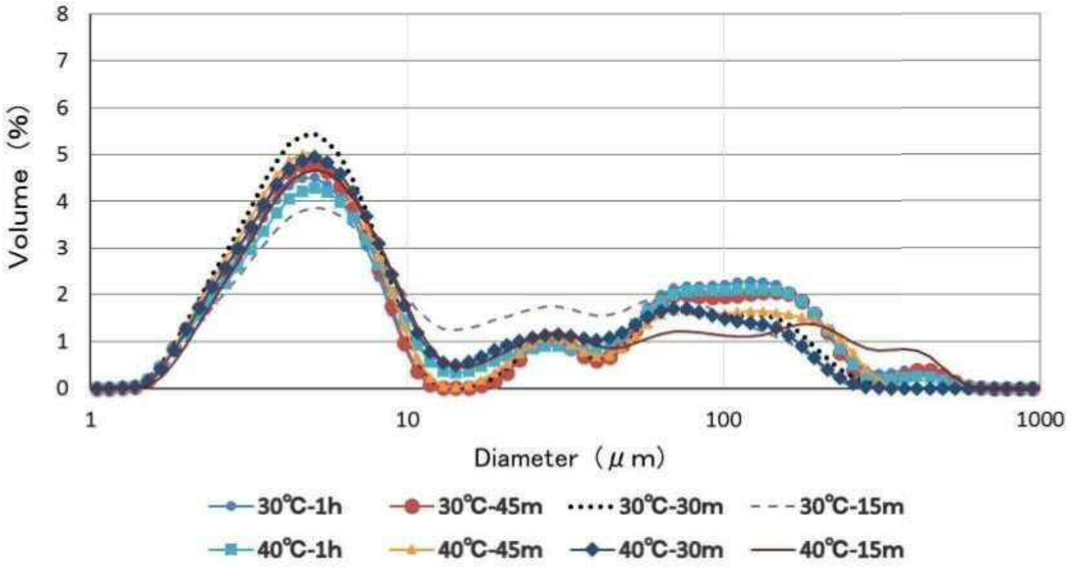


Fig. 2-7. Particle size distribution of rice flour lled with water after soaking at higher temperature.

れ、20℃～25℃浸漬における水挽きの粒度分布と同様のパターンを示した。これは、常温での浸漬の場合と同様に、デンプン単位粒子が大多数を占める非常に細かい米粉となっていることを示しており、少なくとも今回試験した範囲内の浸漬温度や浸漬時間では粒度分布に対して大きな影響を及ぼさないものと推測された。

30、40℃で浸漬した後に、水挽きした米粉のデンプン損傷率をFig. 2-8.に示した。30℃の場合、15分の浸漬で6.3%と浸漬時間の延長とともに低下した。40℃の場合、15分で8.2%と高く、30分で4.7%。45分で3.1%となった。しかしながら室温での浸漬結果に比較していずれも高い傾向にあり30℃と40℃の比較においても40℃の方が高いことが明らかとなった。これは、常温での水挽き米粉は、十分に水を含んだ状態になっている米粒が、水と共に磨砕されることにより、十分な水によって、磨砕時に発生する熱を奪い、温度上昇が抑制されデンプン損傷が低く抑えられ、未糊化のデンプン単位粒子に近い状態まで粉砕されていることが推察された。30℃、40℃では、磨砕時発生する熱を奪う作用が弱くなるため、浸漬及び磨砕時の水は、温度が低い方が、磨砕熱を吸収するのにより望ましいものと考えられた。

このデンプン損傷率の変動と水挽米粉の水分の変動には相関があり、デンプン損傷率が低い米粉は吸水が多く、結果として水分含量の高い米粉になっていると考えられた。(Fig. 2-9.)。

これらの結果から、精米を水に浸漬することにより、米粒の組織内に十分に水が行き渡った状態になると、デンプ

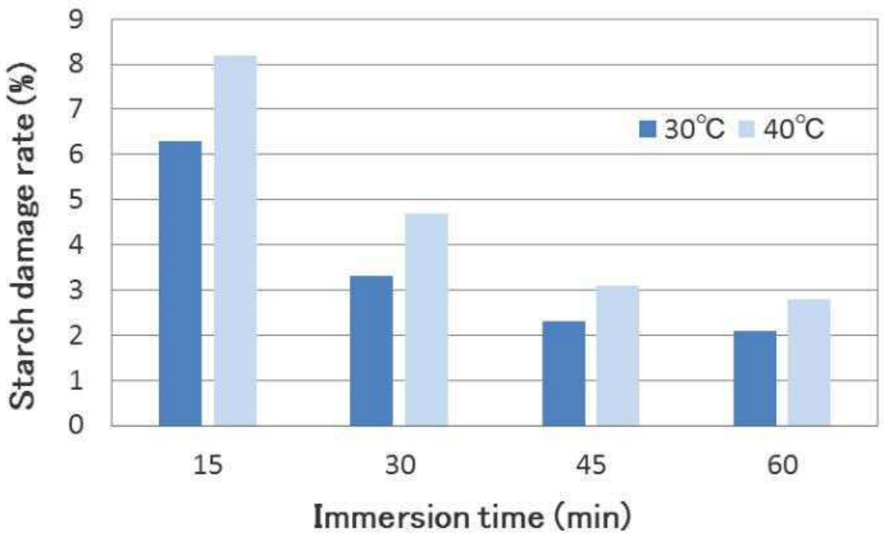


Fig. 2-8. Starch damage rate of rice flour milled with water after soaking at higher temperature.

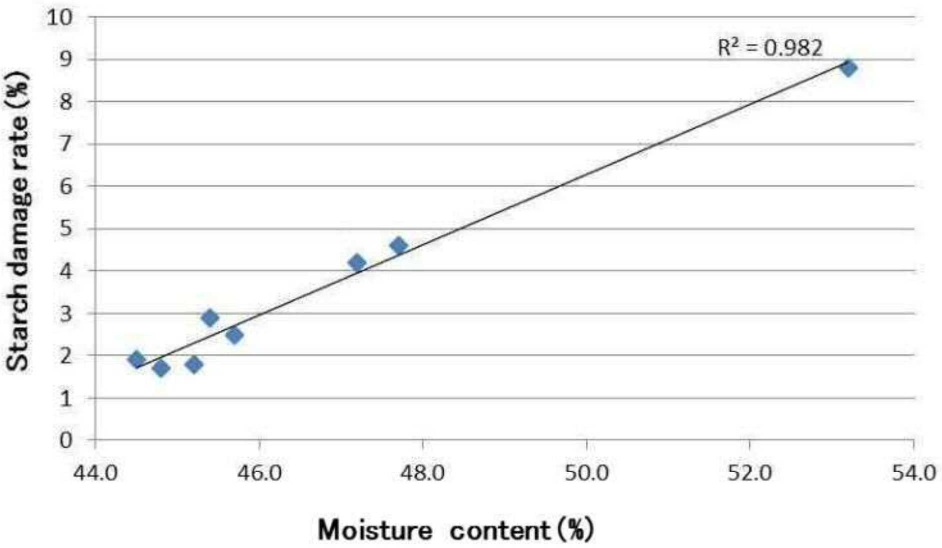


Fig. 2-9. Correlation of water content and starch damage rate

ンが損傷することなく、米粒は粉砕されやすくなるものと考えられた。水を米粒内に十分に浸透させた状態で磨砕すると、米粒の組織がかなり柔らかくなり、デンプン粒をつないでいるものが、たやすく壊れるため、一様に微細な状態に粉砕されると推察される。精米が飽和吸水状態になっているのは、吸水後の重量から判断して、20℃の浸漬で50分後であった。つまり、米粉表面のデンプンの損傷によって、水和が促進され溶解性が高くなり、水中に溶出していくために、水挽き米粉の回収率は減少したと考えられる。こうした米粉の損傷を防ぐことができる十分な浸漬時間は、室温において、50分以上と判断された。

Horiganeらの米粒の吸水時の水分分布のNMRによる検討によれば、搗精歩合90%のコシヒカリ精米において、吸水が完了する時間は、45～60分であった[16]。これは上記の水挽き米粉のデンプン損傷度が低くなる浸漬時間の実験結果と一致しているので、水挽き米粉の上記の浸漬時間が50分であることを支持している。

水挽き米粉の製造における浸漬時間の短縮を目指して水温の上昇について検討したが、水温の上昇は見かけ上デンプン損傷率の増加を引き起こすことが示された。このため、浸漬及び磨砕時の水は、温度が低い方が、磨砕熱を吸収するのにより望ましいものと考えられた。今回、一定温度で浸漬した後にその温度のままで磨砕操作を行ったことが要因とは考えられるが、実際の作業を考えると浸漬温度をいったん下げてから磨砕作業を行うことは逆に作業時間の延長を引き起こすものと考えられるため、浸漬水の温度上昇は水挽き米粉の調製においては好ましくないものと考えら

れた。

以上、水挽き方式で米粉を調製する場合、デンプン損傷率が低く、粒度が小さく均一な高水分米粉を高回収率で製造するために、吸水された水が米粒組織内に均質に行き渡っていることが重要と考えられ、室温で 50～60 分の浸漬を行った後に磨砕することが最適と考えられた。

第 4 節　水挽き米粉の DSC 分析

開発した微細な高水分米粉である水挽き米粉と乾式気流粉砕米粉について、DSC 分析を行い、デンプンの糊化挙動について比較した（Fig. 2-10.）。

どちらの米粉とも、おおよそ 68℃付近を頂点とする吸熱ピークが観察された。2つの吸熱ピークの始まりと終わりの温度はほぼ同じであったが、水挽き米粉の方が吸熱量の大きい深いピークを示した。これは、デンプンの糊化による吸熱ピークと考えられ [17)]、水挽き米粉の方が、デンプンの未糊化率が高いことを示している。前節の水挽き米粉のデンプン損傷度が少ないことと一致する結果となった。

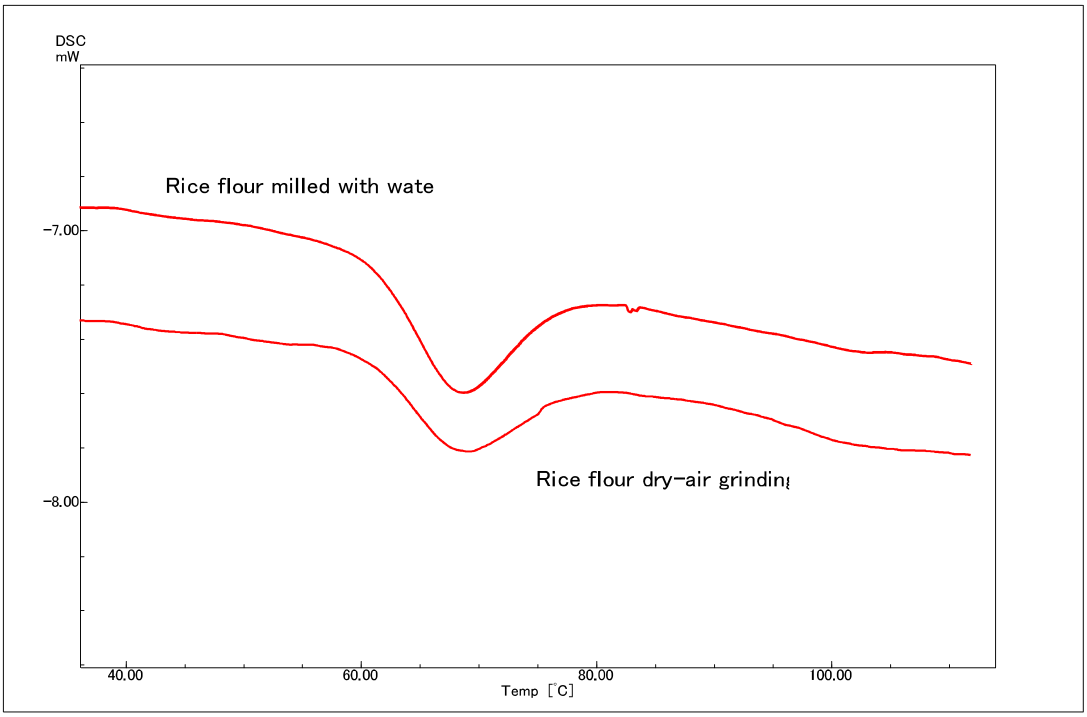


Fig. 2-10. DSC-curve of rice flour／water mixture (Rice flour milled with water, Dry-airflow milling rice flour)

(Measurement condition: rice flour 25mg(dry-weight) in water 27mg, rate of temperature rise 4.0/min)

第２章の小括

精米を水に浸漬した後、電動石臼で水挽き磨砕し、遠心脱水することで高水分含量の米粉を調製した。

水挽きした米粉の回収率は、室温、30分以上の浸漬でほぼ一定となった。一方、水分含量は、50分以上の浸漬でほぼ一定になった。

水挽きした米粉の粒子は６μm前後のものが大部分を占めており、浸漬時間や浸漬温度の影響は小さかった。また、デンプン損傷率は、室温で50分間以上の浸漬を行うことで２％以下と非常に低くなった。浸漬温度の影響について検討したところ、浸漬温度は上昇とともに、デンプン損傷率の上昇する傾向がみられ、米の水挽きにおいては、浸漬温度は室温より上昇させない方が望ましいと考えられた。

以上のことから、粒度が小さく均一な高水分米粉を高回収率で製造するために、吸水された水が米粒組織内に均質に行き渡っていることが重要と考えられ、室温で50～60分の浸漬を行った後に磨砕することが最適と考えられた。

第2章引用文献

23) 吉井洋一,新用途米粉（米穀粉）－加工方法と施設・資材,食品加工総覧 第4巻 追録 7号 総論,農文協,東京, 500-38－500-43 (2010)

24) 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およびその製パン適性（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, 21-28 (1992)

25) 庄司真樹,羽生幸弘,毛利哲,畑中咲子,池田正明,富樫千之,藤井智幸,製粉方法の異なる米粉の紛体特性と吸水特性の評価,日本食品科学工学会, 59, 192-198 (2012)

26) 荒木悦子,池田達哉,芦田かなえ,高田兼則,谷中美貴子,飯田修一,損傷デンプンの量と米粉の形状は米粉の製パン性に影響する,近畿中国四国農業研究成果情報 (2006)

27) 関千恵子,貝沼やす子,米の調理に関する研究（第2報）炊飯条件としての浸水時間,日本家政学会誌,33, 228-234 (1982)

28) 内村泰,高尾哲也,菊地孝治,新村陽一,岡田早苗,小原直弘, Wiwet DAENGSUBHA,小崎道雄,タイ国発酵米麺（*Khanom Jeen*）中の乳酸菌の同定,日本食品工業学会誌, 38, 456-475 (1991)

29) 貝沼やす子,田中祐季,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, 620-627 (2009)

30) 新井映子，帯川文香，鈴木啓太郎，貝沼やす子，米ペースト乾燥粉末の性状と米粉部分置換食パンへの利用，日本食品科学工学会誌，60，425-433 (2013)
31) 有坂將美，米の加工・利用各論，米の科学，石谷孝祐・大坪研一編，朝倉書店，東京，154 (2010)
32) 江口智美，北元憲利，鈴木道隆，小河拓也，吉村美紀，白玉粉の粒子に及ぼす水挽き条件の影響，日本食品科学工学会誌，60，711-717 (2013)
33) 五訂増補　日本食品標準成分表分析マニュアル
34) Yasushi Kawagoe, The Characteristic Polyhedral, Sharp-edged Shape of Compound-type Starch Granules in Rice Endosperm is Achieved vie the Septum-like Structure of the Amyloplast, J. Appl. Glycosci. 60，29-36 (2013).
35) 小川拓也，永井耕介，製粉方法が米粉の特性および製パン性に及ぼす影響，兵庫県立農林水産技術総合センター，59，19-23 (2011)
36) 松元文子，関千恵子，津田真由美，米の調理に関する研究（第1報），家政学雑誌，**18**，158-162 (1967)
37) 関千恵子，貝沼やす子，米の調理に関する研究（第2報）炊飯条件としての浸水時間，家政学雑誌，**33**，228-234 (1982).
38) Horigane, A.K., Takahashi, H., Maruyama, S., Ohtsubo, K. and Yoshida, M., Water penetration into rice grains during soaking observed by gradient echo magnetic resonance imaging. *J. Cereal Sci.*, **44**, 307-316 (2006).

応用熱分析，日本熱測定学会・応用熱測定研究グループ編，日刊工業新聞社，東京

第3章　水挽き米粉の加工活用技術の開発

緒言

前章では、水挽き米粉の特性を明らかにし、同時に水に浸漬する時間、温度等の条件検討を行い、製造方法の最適化を行った。水挽き米粉は、通常の米粉に比べて非常に粒子が細かく、デンプン損傷度の低いことが特徴であった。

次に、前章の条件によって得られた水挽米粉を用いて様々な加工品を製造した場合に、従来から用いられている乾式気流粉砕米粉から製造した加工品とどのような違いがあるのかについて、検討する必要があると考えられた。すなわち、水挽き米粉と気流粉砕米粉のそれぞれから作った加工品の品質について比較・考察することとした。

米粉の品質が加工品の品質に与える影響については、すでに様々な報告が出ている[1)2)3)4)]が、米粉の加工品の中で最も広く知られている米粉パンについて、グルテン添加の方法で比較を行った。

また、米粉を用いたパン製造においては、たんぱく質の量がパンの膨らみに影響を与えるという報告[5)]もあり、水挽米粉では、どの程度タンパク質が減少しているか、検討を行った。

併せて、水挽き米粉は、普通の米粉に比べて、水分含量が非常に高いという特性があるため、加工する場合にはそれを勘案して加工する必要がある。米粉に含まれる水分量に応じて、加水量の調整を行うことで、乾燥した

米粉と同様に様々な加工品を製造できるかどうかについて検討した。

実験方法

1．水挽き米粉を用いた山型パンの製パン試験

前章で確立した方法に従って、精米から調整した水挽き米粉を用いて以下に示した配合のパンを製造した。さらに比較のために玄米から調製した水挽き米粉を、製パン試験に供した。なお、調製するパンは山型パンとし、グルテン15%添加とした。

(1)パンの配合

山型パン1斤分の分量として、米粉は固形分として207gとし、水分は米粉に含まれる分も含めて261gという配合とした。具体的には、水分量45%の水挽き米粉の場合、配合量は376gとなり、このうち169gが水分と計算できるので、水は92g加える。一方、水分12%の乾式気流粉砕米粉の場合、配合量は235gなので、含まれる水分は28gと計算でき、水は233g加える。

その他の材料の配合は、グルテン42g、ショートニング18g、グラニュー糖18g、スキムミルク6g、塩5.6g、ドライイースト3gとした。

① 製パン方法

油脂（ショートニング）と水以外の材料を混合した後、加水して混合した。生地がほぼ均一になった段階で油脂を加えつつ、30分間練った。一連の混捏には、ホームベーカリー(㈱MK精工製HB－100)を用いた。混成した生地の全量を成形して食パン型（一斤型

H125mm×L125mm×D125mm）に入れて発酵を行った。発酵はパン生地の高さが型をやや上回る点を目安に40℃約50分間行った。

③ 焼成したパンの体積・比容積

焼成したパンの体積は菜種法[6]により測定した。体積と重量から比容積を求めた。

④ 焼成したパンのクラムの色

焼成したパンのクラム部分の色は測色色差計（㈱日本電色工業製 ZE-2000）を用いて、反射モードにて測定し、L*a*b*表色系にて表現した。

⑤ 焼成したパンのクラムの水分量

クラム部分の水分測定として、パン中央部から2㎝×2㎝×1㎝の切片に切り出し、常圧加熱乾燥法(135℃3時間)[7]にて水分量を測定した。

⑥ 焼成したパンのクラムの圧縮応力測定

成型時のロール断面と平行になるように、パン中央部より厚み2㎝で切り出し、高さ2㎝の切片を作製した。2㎝×2㎝×2㎝の立方体を切り出し試料とした。この試料の上、中、下部の圧縮応力をそれぞれ3回測定し平均をとった。測定はレオメーター（サン科学製 COMPAC - 100型）を用い平面プランジャー(25mm径)で歪率40%まで、速度120mm／分で圧縮した。最大応力(N／m^2)を圧縮応力として求めた。

（2）水挽き米粉を用いたシフォンケーキの調製

①シフォンケーキの配合（17㎝型1ケ分）

水挽き米粉（水分46%）: 114g、グラニュー糖70g、

卵黄62g（約3ケ分）、卵白155g（約4ケ分）、
サラダオイル44g

②作り方と焼成温度・時間

i）：ボールに卵黄を入れ、白っぽくなるまで泡立て、グラニュー糖の配合量の半量を入れてさらに泡立てた。そこにサラダオイルを加えてよく混ぜた。

ii）：i）に大きな固まりのないようにほぐした水挽き米粉を加え、均一になるように混ぜた。

iii）：別のボールに卵白を泡立て、グラニュー糖の残り（35g）を加えてさらに泡立て、しっかりしたメレンゲを調整した。

iv）：ii）にiii）を3回位に分けて加えて、混ぜることを繰り返した。均一になったら型を回しながら流し込んだ。

v）：180℃で45分間焼いた。

（3）水挽き米粉を用いたクッキーの調製

①クッキーの配合

水挽き米粉200g（水分45.2%、乾物量約110g）、米油60g、グラニュー糖50g、卵（全卵46g）

③作り方と焼成温度・時間

i）ボールにサラダオイルと大きな固まりのないようにほぐした水挽き米粉を入れて撹拌し、グラニュー糖を加えてさらに撹拌する。卵を加えて良くすり混ぜて、よく混ぜて均一なバッターを作る。

ii）バッターをテーブルスプーンですくい、天板に、適当な大きさになるように流す。

iii）オーブンで200℃12分間、185℃に温度を下げて

6分間、さらに170℃に温度を下げて2分間加熱してクッキーを焼成した。

（4）タンパク質含量の測定

水挽き米粉とその原料の米についてタンパクの質含量を、ケルテックシステム（FOSS社製）を用いてケルダール法[8]によって測定した。窒素―タンパク質換算係数を5.71として換算した。

結果と考察

第1節　水挽き米粉を用いたグルテン添加パンの加工とその品質

（1）水挽き米粉を用いて加工した山型パンの膨らみについて

前章において最適化された条件によって調製した水挽き米粉を用いて山型パンを焼成した。焼きあがった水挽き米粉のパンの写真を図3-1に示した。水挽き米粉を配合した山型パンは乾式気流粉砕米粉を配合したパンと比較して、パンの大きさが大きくなっているとともに、きめが細かく、ふくらみが良くなっていた。一方、乾式気流粉砕米粉のパンにはケービングが多く見られた。

パンのふくらみについては、高さ、重量、体積を測定し、比容積を求めて、Table 3-1.に示した。水挽き米粉のパンは乾式気流粉砕の米粉のパンに比較して比容積が1.07倍となり、有意にふくらみの良いことが示された。

さらに、精米の水挽き米粉の代わりに玄米から調製した

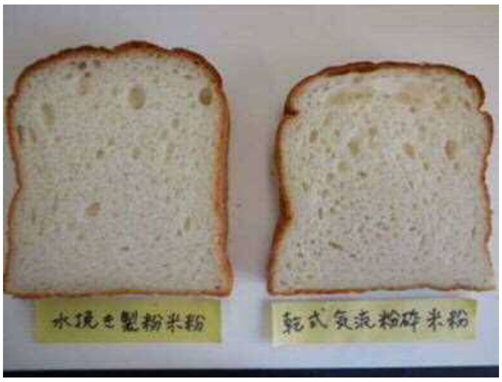


Fig. 3-1. The gluten addition bread using rice flour milling with water

水挽き米粉を配合したパンの比容積を求めたところ、精米の水挽き米粉のパンと同様に、乾式気流粉砕米粉パンと比較して、1.07倍となり、精米から調整した米粉も玄米から調整した米粉も同程度にふくらみが良いことがわかった。

（2）水挽き米粉を配合して調製したパンのクラムの硬さ

焼成したパンを室温 25℃で1日保管した後に圧縮圧力を測定した。焼成1日後水挽き米粉のパンのクラムの圧縮応力は、673N／m² となり、乾式気流粉砕米粉のパンに比較して、やや大きな値を示した。(Table 3-2.)

玄米から調製した水挽き米粉のパンは、精米の水挽き米粉のパンよりもさらに大きな圧縮応力を示し、実際に触った感触でも、しっかりとしており弾力が感じられた。

焼成後 25℃で3日間保存した、焼成3日後のパンのクラムの硬さは、水挽き米粉のパンで最も大きくなり、2735N／m² まで増加した（Table 3-3.)。コントロールとして調製した乾式気流粉砕米粉のパンでも2倍近い増加が見られたものの、3日後の圧縮応力は 1000N／m² であり、水挽き米粉配合のパンは 2.7倍も硬さが増していることが分かった。

その一方で、玄米から調製した水挽き米粉を配合したパンは、精米から調製した水挽き米粉よりも小さく、3日後の圧縮応力は精米から調製した水挽き米粉パンよりもむしろ柔らかくなることが示された。玄米は重量の10%程度が糠であり、糠は 18%程度の脂質を含んでおり、精白米に含まれる脂質は 0.3%だが、玄米に含まれる脂質は 2.7%である[9]。玄米の水挽き米粉で製造した

Table 3-1. Dimension of gluten addition bread using rice flour milled with water.

Milling method	Height	Weight	Volume		Specific Volume	
	(cm)	(g)	(cm^3)	(Relative value)	(cm^3/g)	(Relative value)
Rice flour milled with water (polished rice)	136.6	470	1679	(1.07)	3.57	(1.07)*
Rice flour milled with water (brown rice)	137.4	475	1697	(1.08)	3.57	(1.07)*
Con : Dry-airflow milling rice flour	133.3	470	1565	(1.00)	3.33	(1.00)

Rice breed is Haenuki, Polished rice :pearling 91%

The average of bread test of ward 2 repeated twice

* Significant difference ($P<0.05$) by one-way ANOVA

Dry-airflow milling rice flour is milled a Swirling airflow puliverizer SM250 (Shizuokaseiki)

(Target particle size : 80μm)

Table 3-2. Hardness and color of gluten addition bread using rice flour milled with water at the one day after the baking

Milling method	moisture content	Hardness of bread	Color of bread crumb			
	(%)	a day later(N/m^2)	L*	a*	b*	Whiteness
Rice flour milled with water (polished rice)	46.0	673	64.7	2.8	0.3	64.6
Rice flour milled with water (brown rice)	47.5	816	62.2	2.9	6.8	61.5
Con : Dry - airflow milling rice flour	46.9	551	67.4	2.9	1.2	67.2

Breadmaking test three times average
※ Light(100) ← L → (0)Dark
Red (+) ←a*→ (−) Green、Yellow (+) ←b*→ (−) Blue

Table 3-3. Hardness and color of gluten addition bread using rice flour milled with water at the three days after the baking

Milling method	moisture content	Hardness of bread	Color of bread crumb			
	(%)	3days later(N/m^2)	L*	a*	b*	Whiteness
Rice flour milled with water (polished rice)	46.2	2735	66.6	2.8	0.9	66.5
Rice flour milled with water (brown rice)	46.7	2388	65.0	3.3	7.2	64.1
Con : Dry-airflow milling rice flour	47.3	1000	67.9	2.9	2.2	67.7

Breadmaking test three times average
※ Light(100) ← L → (0)Dark
Red (+) ←a*→ (−) Green、Yellow (+) ←b*→ (−) Blue

パンには、精米の水挽米粉のパンよりも脂質が多く含まれることから、玄米から調整した水挽き米粉のパンにおいては、含まれる脂質によってデンプンの老化が抑制され、3日後には、精米の水挽き米粉のパンよりも柔らかくなったものと推測された。

（3）水挽き米粉を配合して調製したパンの色について

精米の水挽き米粉を配合したパンのクラムの色は、乾式気流粉砕米粉のパンと比較して、b*の値が小さく、乾式気流粉砕米粉のパンよりも黄色味が小さいことを示した。また、L*値および白色度で見ると、乾式気流粉砕米粉のパンの方が大きい値となり、明るく白く見えることが示された（Table 3-4.)。それぞれのパンを3日間保存したのちに同様にクラムの色を測定したところ、焼成翌日と焼成3日後を比較すると焼成3日後にやや白色度が上がっていた。その理由についてはわからなかった。

（4）水挽き米粉を用いて焼成したパンの食味について

次に水挽き米粉を配合したパンと乾式気流粉砕米粉を配合したパンを官能評価に供した（Table 3-4.)。その結果、水挽き米粉のパンが、外観、風味、総合評価で、乾式気流粉砕米粉のパンよりも有意に評価が高い結果となった。

外観で水挽き米粉のパンが有意に高い結果となったのは、乾式気流粉砕米粉に比較して明らかにきめが細かく見えていたことで、評価が高い結果につながったものと推察された。粉の粒子が細かいほど光が乱反射する率が高く白く見えるのと同様に、パンのきめが細かいことでより白く見えたのではないかと考えられる。色差計での色の測定からは白色度が乾式気流粉砕米粉のパンよりも低いことが示され

Table 3-4. Sensory evaluation of gluten addition bread using rice flour milled with water

	Appearance (Color)	Flavor	Texture	Taste	Comprehensive evaluation
Rice flour milled with flour	1.19*	0.63*	0.63	0.44	0.88*

Dry-air flow milling flour was evaluated in the subject (n =16)

* Significant difference (P<0.05) by one-way ANOVA

Color : colored (－3) - same (0) - white(3)

Texture : hard (－3) — same (0) — Fluffy and soft (3)

Other : inferior (-3) — same (0) — superior (3)

ていたが、色の違いをはっきりと認識できる程の差ではなかったこともこうした評価につながったものと推測される。

一方で、食感と味の項目では有意差が見られず、同程度と評価された。

意見の自由記入欄には、ふんわりしていておいしいという感想が多く見られた(**Table 3-5.**)。きめが細かいパンに焼きあがっていたため、口当たりが良いと評価したパネルがいたものと推測された。一方で、もちもちしない、普通のパンに近い、などの感想が見られ、米粉パンといえば、もっちりしているというイメージを持ち、対照とした乾式気流粉砕米粉のパンの方が、米粉パンらしいという意見も見られた。こうした感想から見ると、食感については評価が分かれたために有意差が見られなかったものと考えられた。さらに、やや甘みやうまみが減ったという意見もあった。

以上のことから、水挽き米粉にグルテンを添加してパンを加工すると、水挽き米粉の粒子が非常に細かいことから、パン生地の焼成時に、粒子が重力によって沈降することが少なく、膨張しやすくふくらみの良いパンができるものと考えられた。米粉パンにおいては、米粉の粒度は **50** μm 以下が望ましいとされており[10]、最頻粒度が 6 μm である水挽き米粉は、米粉パンに適していると考えられた。また、水挽き米粉は、デンプンの損傷率が低いことから、生地の粘性が低く膨らみやすかった可能性も考えられる。第1章でも述べたように、米粉のデンプン損傷度が高いと米粉パンのふくらみに影響を与えることがわかっており、これらはこれまでの報告[1)2)3)4)]

とも一致している。さらに、粒子が細かいことが、パン生地におけるグルテンネットワークの形成にもが良好に働いた可能性もあると推測された。

玄米から調製した水挽き米粉の粒度分布をFig. 3-2.に示した[11)]。玄米から調製した水挽き米粉は、粒度分布からみて、胚乳部分のデンプン質の部分は、精米の水挽き米粉と同様の細かさに粉砕されており、表皮や胚芽由来の糠部分が微粉化されたものの、大きな粒子として残っていると考えらえる。このため、玄米パンにおいても、微粒となったデンプンが、グルテンネットワークに組み込まれる一方、糠部分の大きな粒子は、グルテンネットワーク形成を阻害するのではないかと予想した。しかしながら、結果を見ると、パンの膨らみは精米の水挽き米粉と同等であったことから、糠由来の成分は少なくとも膨張を阻害はしていないものと考えらえた。しかしながら、糠の影響については、今回のデータからは十分な考察は難しく、今後の詳細な検討が必要と考えられた。

水挽き米粉を用いることで、乾式気流粉砕米粉を用いた場合に比べてグルテン添加パンの比容積が1割程度改善することが示されたが、小麦粉のパンに比較すると比容積は小さい。しかし、米粉のパンは、小麦粉のパンに比べて水分含量が高い傾向があり、これは高齢者にとって食べやすいと考えられる。このように米粉のパンは小麦粉のパンとはやや異なる特性を持つ食品として有望であると思われ、水挽きの米粉の用途として適していると考えられる。

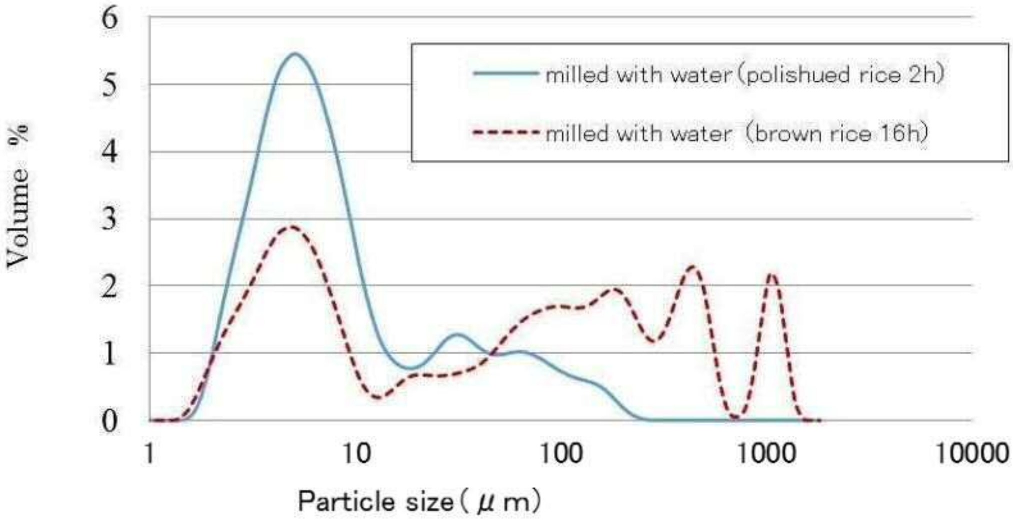


Fig. 3-2. Particle size distribution of rice flour milled with water (using brown rice)

第２節　水挽き米粉に含まれるタンパク質

これまでデンプンの挙動を中心に見てきたが、パンのふくらみにはタンパク質も大きな寄与をしていることから、水挽き米粉中のタンパク質についても検討を行った。水挽き米粉中のタンパク含量を測定した結果を、Table 3-6.に示した。

20℃と25℃で2時間浸漬した場合は、タンパク質量は原料米の 90%程度となり、10%程度減少していた。20℃と30℃で1時間浸漬した場合は、原料の 95～96%と、5%程度の減少、30℃と 40℃で 30 分間の浸漬でも同様に5%の減少であった。

「五訂日本食品標準成分表」によると、日本の米のタンパク質は、精米で 6.8%のタンパク質が含まれている。主要タンパク質はグルテリン（オリゼリン）とプロラミンで、それぞれアルカリ可溶性とアルコール可溶性[12]で水に不溶であり、単なる水挽きや水洗では除去できない[13][14]とされている。こうしたタンパク質は米粉の中ではデンプン粒に含まれていることが示されているが、コメデンプン粒は、様々なデンプン粒の中でも粒径が細かく、2～5 μm[13]、4.8 μm[14]などと報告されている。水挽米粉は、粒度分布において、最頻径が 6 μm の粒子であることが第2章からわかっており、単粒の米澱粉に近い状態になっていると推測される。水挽き米粉におけるタンパク質の減少が 5～10%であったことは、米のタンパク質がグルテリンとプロラミンを主体とし水には溶けにくいことが関係しているものと考えられた。

Table 3-6. Protein content of rice flour milled with water

Immersion condition		Protein in rice flour	Ratio of material rice
time	Tempurature	DW g/100g ※	
2h	20℃	5.95	0.91 [1)]
	25℃	5.82	0.89 [1)]
1h	20℃	6.31	0.96 [1)]
	30℃	6.02	0.95 [2)]
30min	30℃	6.09	0.95 [2)]
	40℃	6.09	0.96 [2)]

※2iteration

Protein in material rice 1)6.57g/100g、2)6.38g/100g

また、米粉のタンパク質に関しては、アルカリ処理した米粉を小麦粉に添加する方法で製パンを行った場合、米粉中のタンパク質量がパンの比容積に与えているとして、米粉中のタンパク質量がパンの品質に影響することが指摘されている[6)]。アルカリ処理により米粉中のタンパク質が減少し、米由来のタンパク質が少ないことがグルテンネットワークの形成に有利に働いているとされている。

第1節の米粉パンの製パン試験においては、3日後のパンの硬さ（圧縮応力）が、乾式気流粉砕米粉に比較してやや硬かった。この理由として考えられることは、乾式気流粉砕米粉のタンパク質のデータはないが、水挽米粉中のタンパク質が1割程度減少していて、デンプン質の割合がやや高くなっているため、よりデンプンの老化が進みやすかった可能性があると推測される。

また、今回検討した範囲では、浸漬時間が30分、1時間よりも、2時間と長い方が、タンパク質の減少は多かった。組織内に十分に水が浸透する方が、水溶性のタンパク質であるアルブミンなどが流出しやすかった可能性などが考えられ、少しでも多くタンパク質を減少させるためには、浸漬時間を2時間以上とすることが適切である可能性があるが、確認にはなお詳細な検討が必要である。

第3節　水挽き米粉を用いた菓子の試作

以上のように水挽き米粉にグルテンを添加してパンを焼成したところ、ふくらみの良いパンができ、乾式気流粉砕米粉を用いて同様に焼成したパンよりも官能的にも高い評価となった。そこで、他の食品の加工に対する影響についても検討するために水挽き米粉を用いて、シフォンケーキ、クッキーについても検討した。

（1）シフォンケーキ

水挽き米粉を用いて、水分量を計算して配合を調整し、方法に示した配合でシフォンケーキを試作した。通常の米粉シフォンケーキの配合[15]の場合、水挽き米粉に含まれている水分の量で十分であり、水分を添加する必要はなかった。

実際の作業においては、米粉と他の材料との混合は攪拌回数を通常よりも多くする必要があった。また、あらかじめ米粉をほぐして、大きなかたまりのない状態にしておく必要があった。

作業時の様子とできあがったケーキの様子を Fig. 3-3. に示した。

シフォンケーキを試食したところ、ふんわりしており、かつしっとりとした、食感の良いケーキであった。

（2）クッキー

水挽き米粉を用いて、方法に示した配合で、クッキーの試作に取り組んだ。米粉の粒子が細かいことと、バターを用いず液状の植物油を用いたため、生地は流れやすかっ

Fig. 3-3. Prototype of Chiffon cake

た。そこで、クッキーの形成は、適量の生地を大きなスプーンで天板に流す方法をとり、クッキーを焼成した。

できあがりの写真を **Fig. 3-4.** に示した。

焼成したクッキーを試食したところ、サクサクして口当たりが良かった。

Fig. 3-4. Prototype of cookie

第３章の小括

前章で最適化した条件を用いて水挽き米粉を用いて調製し、グルテン添加米粉パンの製パン試験を行い、パンの品質について気流粉砕米粉と比較を行った。水挽き米粉を用いたグルテン添加米粉パンは、乾式気流粉砕米粉を用いた場合に比べて、パンの膨らみが良く、官能評価でも評価が高いことを示した。

また、パンのふくらみの良かった理由としてタンパク質含量のわずかな減少がみられ、米粉粒形が小さいことと、グルテンネットワークの構成を阻害する米由来タンパク質の減少が推測された。

さらに、水挽き米粉を用いて、シフォンケーキ、クッキーの加工を行い、水挽き米粉の製菓特性についても確認した。

第3章　引用文献

39) 荒木悦子，池田達哉，芦田かなえ，高田兼則，谷中美貴子，飯田修一，損傷デンプンの量と米粉の形状は米粉の製パン性に影響する，近畿中国四国農業研究成果情報，(2006)

40) 岡留美穂，林好子，中川和秀，大野信子，米粉調整法が生地の発酵と製パン性に及ぼす影響，和洋女子大学紀要，第48集(家政系編)，45-54，(2008)

41) 小河拓也，永井耕介，製粉方法が米粉の特性および製パン性に及ぼす影響，兵庫農技総セ研報(農業) 59，19-23，(2011)

42) 山澤正勝，中島千枝，坂本奈央，日比野久美子，米粉食パンの品質に及ぼす米粉製粉技術の影響，名古屋文理大学紀要，第12号(2012)

43) 船附稚子，食品に加工しやすい高品質な米粉，米麦改良2012年11月号，全国米麦改良協会，東京，22-27，(2012)

44) 内田迪夫，パンの品質－品質評価法－官能的評価法，製パンプロセスの科学(第3版)，田中康夫、松本博編，光琳，東京，237，(2008)

45) 安本教傳，五訂日本食品標準成分表分析マニュアル，建帛社，東京，(2006)

46) 安本教傳，五訂日本食品標準成分表分析マニュアル，建帛社，東京，(2006)

47) 文部科学省　食品成分データベース
http://fooddb.mext.go.jp/

48）新潟県農林水産部「新規用途米粉用途別推奨指標」（2012）
49）山形県農業総合研究センター，「水挽き製法による米粉加工技術の開発」，平成 27 年度全国食品技術研究会ポスター発表（2015）
50）竹生新治郎，米の科学，石谷孝祐・大坪研一編，朝倉書店，東京，p21～23，（1995）
51）高橋禮治，でん粉製品の知識，幸書房，東京，20-22，（2000）
52）島田清之助，澱粉の製造法－米澱粉，澱粉科学の事典，不破英次・小巻利章・檜作進・貝沼圭二編，朝倉書店，東京，371-372，（2003）
53）坂本廣子，坂本佳奈，国産米粉でクッキング，農山漁村文化協会，東京，（2004）

第4章　米糠麹を用いた健康機能性成分を含む食品素材開発

緒言

米糠は、米の表皮と胚芽の部分であり、通常は精米の際に取り除かれる。米糠は米の重量の約1割にすぎないが、米の機能性成分のほとんどは米糠に含まれている。

米糠の現在の利用は、米油搾油用（30～40%）以外は、飼料、肥料、糠漬け床などの付加価値の低い分野で廃棄同然に使われている。ごくわずかの量が、健康食品や菓子に利用されている[1)]。米油は日本で唯一、原料を国産で賄える、自給可能な植物油である[2)]。

米糠には、タンパク質が13%、脂肪が18%、炭水化物が38%、食物繊維が8%程度含まれる。ビタミンでは、ビタミンB1、ビタミンB2、ナイアシン等のビタミンB群を多く含む[3)]。

米糠中には油溶性の健康機能性成分として、トコトリエノール、γ-オリザノール、フェルラ酸、セレブロシド（グルコシドセラミド）が含まれている。水溶性の機能性成分としては、フィチン酸、イノシトールが含まれている[4)][5)]。いずれも米糠に特徴的な成分であり、有用な生理機能を持つ。

こうした優れた機能にも関わらず、糠が食品として利用されにくい理由は、食味の悪さにある。糠の主成分は食物繊維であり、食感は良いとは言えないうえ、米糠が含有する豊富な油分と種々の酵素が原因となり風味が著しく劣化する[1)]。風味劣化の機構は、米糠中の油脂がホスホリ

パーゼ、リパーゼにより分解し、脂肪酸となり、スフェロゾームが崩壊することにより酸素と接触しやすくなった油脂、脂肪酸等がリポキシゲナーゼや自動酸化によりアルデヒドやカルボニル化合物になって[6]、「糠臭・糠味」が発生する

食品素材として米糠を活用するためには、以上のような風味劣化を防ぐ必要がある。精米するとリパーゼが急激に活性化され、油脂の加水分解が進行することから、精米後速やかに加熱処理を行う必要がある。処理方法としては、湿式で120℃の加熱処理や乾式で150℃以上の加熱処理が効果がある[1]ことがわかっており、商業的に実施されている。

以上のように、食物繊維やビタミン、様々な健康機能性成分を豊富に含む点から、米糠は健康に良い食品の原料素材として大きな可能性があると思われる。特に高齢社会において増加が懸念される加齢による疾患の予防に効果のある機能性成分は、食品としての活用に期待が大きいと考えられる。

そこで、健康機能性成分に富んだ食品素材の開発をめざして、米糠の加工研究に取り組んだ。

米糠を食品利用するためには、上で述べたように、油脂の加水分解による風味劣化を防ぐことに加え、食味や食感を改善することが必要であると考えられる。具体的な方法としては、微生物による発酵を利用することで、食味・食感を改善するとともに、発酵により生ずる有用性を付加し、機能性食品としての価値を高めることができるのではないかと考えられた。良好な食味・風味を付与し、

健康機能性も向上させる方法としては、近年プロバイオティック効果などの研究が進む乳酸菌による発酵が考えられる。しかし、乳酸菌の種類にもよるが、一般的には、米糠をそのまま乳酸菌で発酵させることで、漬物臭・糠床臭が発生してしまうことが予想される。このため、第一段階として米糠を糖化した後に、乳酸発酵するという二段階の発酵を経た食品加工が望ましいと考えられた。

この第一段階の米糠の糖化には、日本酒や味醂、味噌・醤油・食酢などの調味料など多くの発酵・醸造食品を作る際に用いられる麹菌による発酵が適しているのではないかと考えられる。米糠の麹については、米糠麹の分解物中にビフィズス菌増殖促進物質の存在が確認されたという報告[7]がある。

また、米糠に大量に含まれる食物繊維の構成成分であるフェルラ酸について、米糠の麹菌による発酵によって、フェルラ酸を米糠から抽出しやすくなる可能性があると考えられた。

フェルラ酸は、4-ヒドロキシ-3-メトキシケイ皮酸のトランス体で、セルロースとともに植物の細胞壁の主要な構成成分であるリグニンなどをフェニルアラニンから合成する経路の中間体である。食品としては、ラジカル消去能と活性酸素消去能を有する酸化防止剤として食品添加物に認可されている[4]。フェルラ酸は、血圧降下、コレステロール低下、血糖値低下などの作用を有していることが報告されており[8]、生活習慣病の予防・改善が期待される[9]。また、高齢化社会の進行とともにアルツハイマー病患者が増加しており、日常的な予防に使える食品成分が

希求されている。フェルラ酸を主成分として100㎎含有する医薬品（ANM176TM）の服用により認知機能の低下が抑制されることが報告されており[10]、比較的軽度で高齢発症のアルツハイマー病患者に効果が期待できる。

フェルラ酸の米糠からの抽出については、すでに酵素処理による方法が報告されている[11]。

米糠の麹やその糖化液の特性については、清酒製造工程の赤糠や白糠を利用した乳酸生産について報告[12]があるものの、食品利用のための米糠麹の製麹やその特性に関する報告はない。

そこで、麹菌による米糠の発酵、すなわち米糠の製麹を行い、米糠麹のいくつかの酵素の活性や麹の糖化液の成分を分析し、麹菌による発酵が米糠糖化の方法として適しているか検討を行なった。また、麹菌を用いた米糠の発酵により、米糠の構成成分である食物繊維からフェルラ酸を抽出しやすくなるかについても併せて検討した。

実験方法

1）原料

米糠は、半脱脂米糠粉末「ハイブレフ」を用いた。この半脱脂米糠は、酵素による酸化を抑えるため、精米後速やかに加熱処理を行って、圧搾法により搾油した食品素材である。（サンブラン株式会社（山形県天童市）製）

米粉の原料としては、山形県産「はえぬき」の精米をを用い、乾式の旋回式気流粉砕で最頻径120μm程度に粉砕した米粉を用いた。

白糠は、株式会社アスクより提供を受け、山形県産の清酒用の酒米を搗精歩合60～70％で搗精することで発生する吟上糠を用いた。成分としては、最外相の糠（赤糠）部分はほとんど含まれていない、米粉に近い原料である。

２）供試した種麹

麹菌は、㈱秋田今野商店より購入した。甘酒用麹菌として「白麹雪こまち」、味噌用麹菌として「白麹すずらん」、焼酎用麹菌として「焼酎用白麹」、みりん用麹菌として「みりん用麹」を用いた。

３）製麹のための原料の処理

半脱脂米糠粉末は、ペレット状に成形して製麹に用いた。半脱脂米糠粉末に水分３８％になるように加水し、押し出し式製麺機（アベ技研製「めんうちきＮＳ－90」）にて線上に押し出し、口金（押し出し口は1.2㎜×1.2㎜）から出てくるところを1ｃｍ程度に切断し、およそ1.2㎜×1.2㎜×1㎝のペレット状に成形して、製麹に供した。米粉、白糠、および米粉と米糠の50％混合、白糠と米粉の50％混合の麹についても、同様にペレット状に成型して用いた。

４）製麹方法

成形したペレット状の米糠原料を、100℃の蒸気で60分間加熱し、40℃以下まで冷却後、麹菌を散布し、よく撹拌して麹菌が均一に付着するようにした。麹菌を付着させた原料は速やかに恒温恒湿機に移して静置し、45時間程度固体培養を行った。製麹条件は、温度35℃、湿度90％の設定でスタートし、麹の品温の上昇が見られた後

は、温湿度を下げて、品温が上昇しすぎないように調整して製麹した。恒温恒湿機は、「ドゥコンディショナー」(株)マルゼン製)を用いた。

5）麹の品質調査項目及びその方法

(1)原料及び麹の水分：常圧加熱乾燥法(105℃、5時間)[13)]により測定した。

(2)1時間糖化抽出液の調整とその分析：調製した麹に同量の水を加えて、時々撹拌しながら、56℃で1時間糖化させ、その後ガラスロートとNo.2のろ紙を用いて1時間のろ過を行って得られたろ液を糖化液とした。この液量、pH、Brix濃度を測定した。

(3) 米糠甘酒（米糠麹米粉糖化物）の調製

製麹した麹を、60℃に調整した米粉の加水加熱糊化物（米粉おかゆ）に加えて撹拌し、56℃に保って糖化を行った。1時間に1回程度よく撹拌しながら、8時間糖化を行った。麹と米粉の割合は、乾物で1：3とし、糖化液の固形分の割合が25%になるように水分を調整した。

(4)糖・有機酸含量の測定

米糠麹1時間糖化抽出液、および米糠甘酒（米糠麹米粉糖化物）中の糖、有機酸成分をHPLCにより測定した。糖含量はグアニジン・ポストカラム蛍光誘導体法により、有機酸含量はBTB溶液を用いたポストカラム誘導体化可視吸収法により測定した。

試料の保存は、-80℃に冷凍保存とし、分析に供する際は流水解凍して用いた。試料を1g採取し、超純水で10倍に希釈し、卓上型振とう恒温槽（パーソナル-11・EXN、タイテック㈱、速度＝160回/1分間）で1時間振と

う抽出した。その後、3000rpm、10分間遠心分離し、上澄みを0.45μmのメンブランフィルターでろ過したものを有機酸含量測定に供した。さらに10倍希釈してろ過したものを糖含量測定に供した。

（5）酵素活性測定

製麹した麹を10g採取し、0.5％Naclを含んだ10mM酢酸緩衝液（pH5.0）100mlを加え、室温で3時間時々振とうしながら抽出した。ろ紙でろ過した抽出液のうち10mlを10mM酢酸緩衝液（pH5.0）にて透析し、粗酵素液とし、これを分析に供した。

アミラーゼ、キシラナーゼは基質（デンプン、キシラン）から遊離する還元糖をジニトロサルチル酸法で定量して求めた。

フェルラ酸エステラーゼは、メチルフェルラ酸を基質に用いて、分解物のフェルラ酸をＨＰＬＣで定量して求めた。

酵素活性は、それぞれの基質を1分間に1μmole分解する活性を1ユニットとし、調製した粗酵素液1ml当たりの活性として表記した。

結果と考察

第1節　各種麹菌を用いた米糠麹の特徴と酵素活性

4種の麹菌を用いて、半脱脂米糠粉末をペレット状にして製麹したところ、ペレット状の米糠麹は濃い褐色をしており、時間の経過とともにペレットの表面が麹菌の菌糸と思われる白っぽい色調に変化したが、麹菌の違いによる特徴の違いなどは明確でなかった。

米糠麹の1時間糖化抽出液の品質評価の結果をTable 4-1.に示す。4種の麹菌のうち、焼酎用白麹菌による米糠麹の糖化液が、最もBrix%が高く、溶解している成分が最も多いことを示した。また、焼酎用白麹菌による麹が、糖化液の液量が多く液化しやすかった。液のpHは、焼酎用白麹菌だけが特に低かった。

これら1時間糖化抽出液のグルコース含量とクエン酸含量をFig. 4-1.に示す。グルコース含量は、みりん用麹菌の米糠麹で最も高い含量を示し、その次が焼酎用白麹菌であった。クエン酸の含量は、焼酎用白麹菌が突出して高かった。

Table 4-2.に米糠麹の酵素の活性を示した。

デンプンの糖化酵素であるα-アミラーゼ活性は、甘酒用麹菌、味噌用麹菌、焼酎用白麹菌による米糠麹が高かった。デンプン分解酵素のグルコアミラーゼ活性は、焼酎用麹菌による米糠麹が最も高かった。

細胞壁の分解に関わる酵素であるキシラナーゼ活性は焼酎用白麹菌で特に高く、次いで味噌用麹菌で高い活性を示した。また、フェルラ酸エステラーゼ活性は焼酎用

Table 4-1. Characteristics of *koji* saccharified extract of the rice bran *koji* made by four *koji*-mold

Koji mold type	Amount of Extraction (ml)	Percentage of Extraction (%)	Digestion by sacharification (Brix%)	pH
Amazake	7.5	15.0	10.5	6.2
Miso	8.6	17.1	10.3	6.2
Sho-cyu	10.5	20.9	13.9	5.4
Mirin	6.4	12.8	11.9	6.2

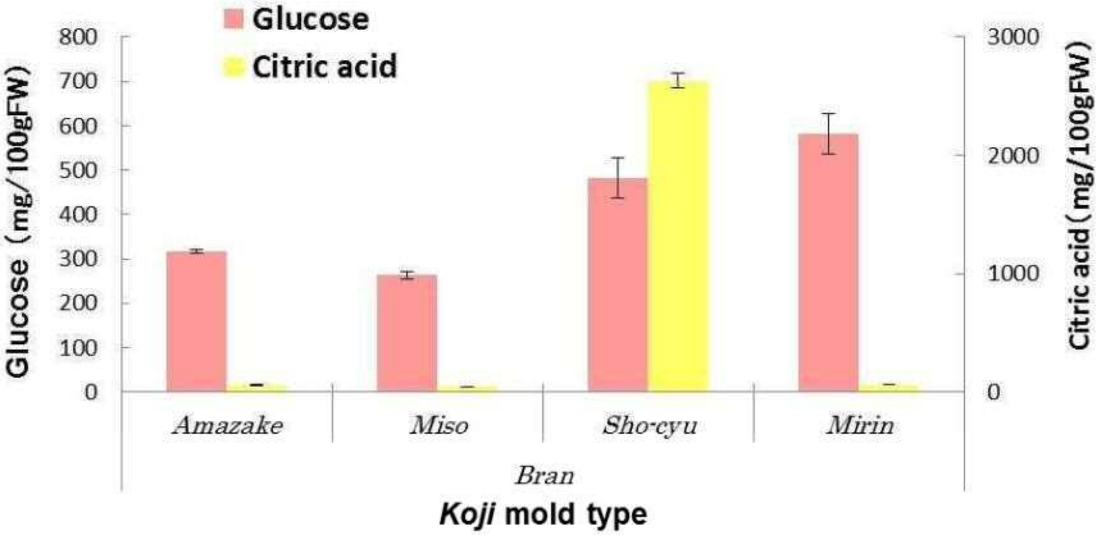


Fig. 4-1. Content of glucose and citric acid in the *koji* saccharified extract of the rice bran *koji* made by four *koji* mold

Table 4-2. Enzyme activity of rice bran *koji* made by four *koji* mold

Koji mold type	α-Amylase Activity (U/ml)	Glucoamylase Activity (U/ml)	Xylanase Activity (U/ml)	FAE Activity (U/ml)
Amazake	6.88	0.070	0.13	0.008
Miso	6.42	0.037	0.41	0.014
Sho-cyu	6.15	0.211	2.48	0.035
Mirin	3.81	0.035	0.10	0.002

FAE:ferulic acid esterase

麹菌が高い活性を示した。

以上のように、米糠麹の製麹において焼酎用白麹菌は、デンプンの糖化、細胞壁分解に関わる酵素の活性がどちらも高く、グルコースを遊離しやすいこと、クエン酸を多く生成し糖化液のｐＨを低く保ちやすいことを示した。糖化液のｐＨが低くなることは、微生物の発酵素材としては雑菌による腐敗が抑えられるなど望ましい性質であると考えられる。また、フェルラ酸エステラーゼの活性も高く、米糠麹を製麹して糖化液を調整し、有効成分を抽出するためには、甘酒用麹菌、味噌用麹菌、みりん用麹菌に比較して焼酎用白麹菌が適していると考えられた。

第2節　各種米資材を用いた米糠麹の製造とその特性

前節の米糠麹の製麹における4種の麹菌の検討の結果から、焼酎用白麹菌を選び、米糠と米粉又は白糠の配合割合を米糠100%、米粉：米糠（50：50）、白糠：米糠（50：50）、米粉100%、白糠100%と変えた原料で製麹を行い、前節と同じ1時間糖化抽出液の品質、成分を評価した。

米粉を用いた麹は、白米と同様に白い色調を示し、混合したものは米糠のみで製麹したものよりはやや薄くなったが、褐色の色調を示した。製麹が進むと麹臭が感じられるようになり、ペレットの表面や内部に菌糸が伸びていると思われる白く曇ったような様子が観察された。

Table 4-3.に各種米糠麹の1時間糖化抽出液の品質評価の結果を示した。

米糠麹の1時間糖化抽出液のBrix%は12.3%と、米粉、白糠100%の麹や、米粉、白糠を50%含む麹に比べて低くなった。これは、麹が糖化する基質である糖質が米粉や白糠に比べて米糠では少ないことによるものと考えらえた。

また、pHは、米粉や白糠100%の麹や、米粉、白糠を50%含む麹に比べて米糠の麹が高い傾向が見られた。これは、通常はクエン酸が生成するために、麹のpHは低下するものと考えられる。しかしながら米糠にはフィチン酸が含まれていることが知られており[14]、そのフィチン酸はMg^{2+}やCa^{2+}と結合したフィチン酸塩として存在し、pH緩衝作用を持ち[15]、pH値の低下が抑制され

たものと推測される。

Table 4-4.に米糠麹の糖化酵素の活性を示した。α-アミラーゼ活性は、米糠麹100%において米粉100%、白糠100%、米粉：米糠(50:50)、白糠：米糠(50:50)より調製した麹のいずれよりも、2倍以上高い値を示した。グルコアミラーゼ活性については、米糠麹は米粉100%白糠100%の麹に比べて高く、また米粉：米糠(50：50)白糠：米糠(50：50)の麹も米粉の麹に比べて高い値となった。米糠は麹菌の増殖に必要な栄養素を多く含み、麹菌の増殖を促進し、酵素の生産に適している基質であると推測された。

また、細胞壁を分解する酵素であるキシラナーゼ活性は、米糠麹で顕著に高く、米糠を半分含む原料で製麹した麹で産生された。逆に白糠で非常に低かった。キシラナーゼは、米糠のように食物繊維を多く含む原料で製麹した麹で生産されるが、でんぷん質の多い原料で製麹した場合は、酵素が生産されないものと推測された。麹菌の増殖のために必要なエネルギーを得るのに、十分なデンプンが存在する場合には、キシラナーゼ生産の遺伝子が発現しないと考えられる。

さらに、米糠に各々の麹の抽出酵素を反応させ、基質の米糠から遊離したフェルラ酸の経時変化をFig. 4-2.に示した。フェルラ酸の遊離は、米糠100%の麹でのみ有意に高くなった。これは、麹菌が容易に利用できる基質が少ない条件下において、多くの基質を利用できるように酵素が誘導された可能性が推測される。

以上のことから、米糠のみを原料とした麹のデンプン

Table 4-4. Enzyme activity of *koji* made by changing the rice bran ratio

	α-Amylase Activity (U/ml)	Glucoamylase Activity (U/ml)	Xylanase Activity (U/ml)	FAE Activity (U/ml)
Bran	37.90	0.195	7.86	0.035
Flour	4.35	0.080	1.49	0
Shironuka	5.02	0.100	0.62	0
Bran-Flour	17.04	0.225	2.18	0.004
Bran-Shironuka	14.58	0.146	3.34	0.004

FAE:ferulic acid esterase

や食物繊維成分を分解する酵素の活性が高いことが明らかとなった。グルコースなどの糖やフェルラ酸を多く遊離し抽出するためには、米糠単体で麹を製麹し、その後でんぷん質を多く含有する白糠や米粉などを基質として用いて、糖化液を調製することが、効率的な方法であると考えられた。

また、フェルラ酸エステラーゼは、泡盛や焼酎などの醸造の分野において重要な役割を担っており[16]、その特性に関する解明が進んでいる[17][18]。米糠の麹は、乳酸発酵のための米糠の糖化だけでなく、こうした醸造の分野への展開の可能性もあると考えられる。

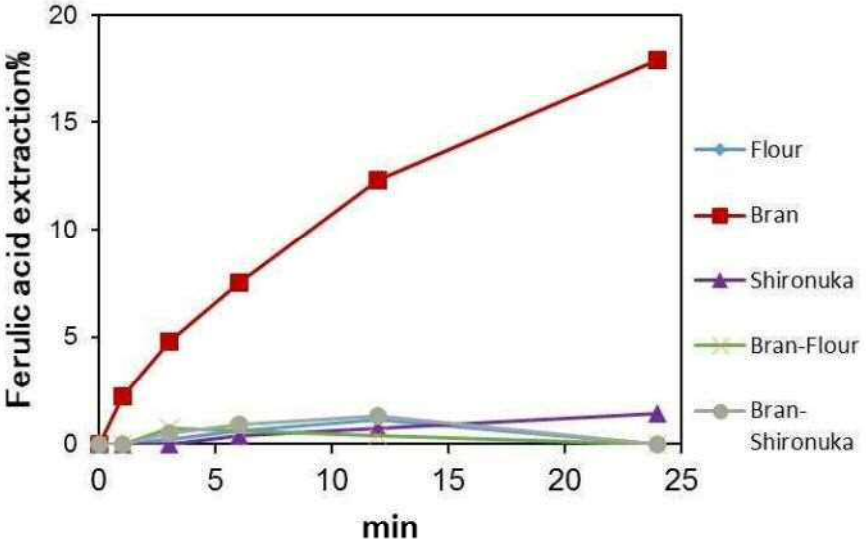


Fig. 4-2. Free ferulic acid from rice bran koji made by changing the rice bran ratio

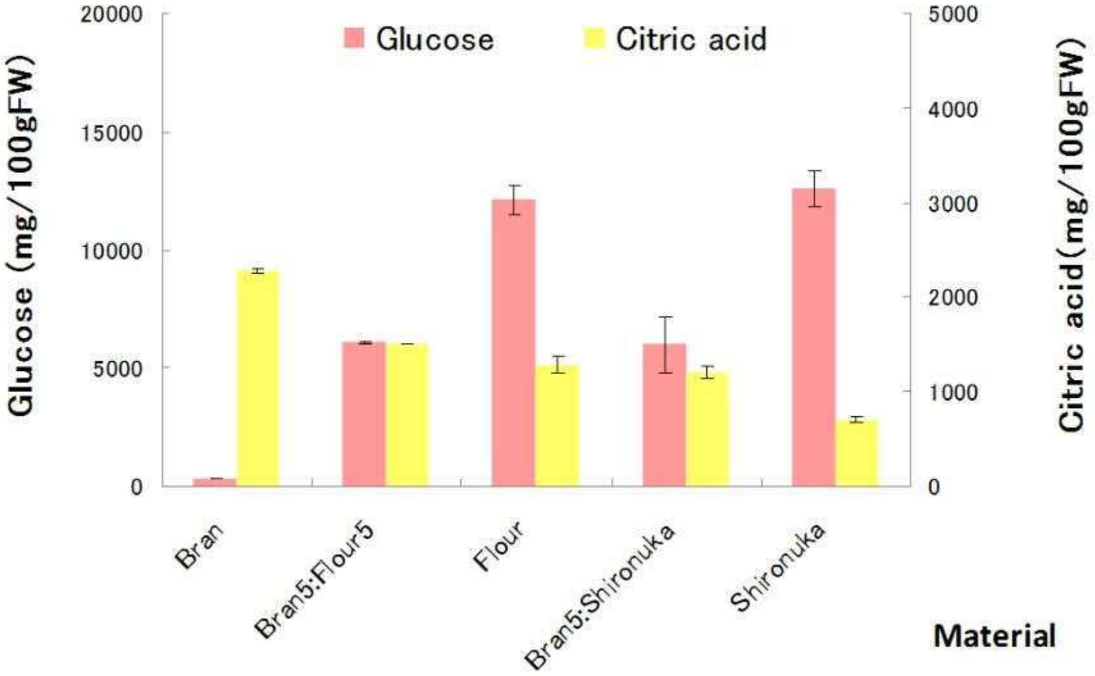


Fig. 4-3. Content of glucose and citric acid in the saccharified liquid of *koji* made by changing the rice bran ratio

第３節　米糠麹を用いた米糠甘酒の調製とその成分特性

４種の麹菌による米糠麹を製麹し、それを米粉に加水加熱して糊化させた米粉糊化物と混合して、56℃に保温して調製した米糠麹米粉糖化物（米糠甘酒）の糖組成について、Fig. 4-4.に示した。以下、米糠麹米粉糖化物を「米糠甘酒」とする。

米糠甘酒中に含まれる糖の成分は、マルトース、グルコースであったが、焼酎用白麹菌の米糠甘酒はグルコースが1.69g／100gと最も多く含まれており、その他の糖は少なかった。これは、グルコースへの分解がより進みやすかったものと推測される。糖の総量としては、みりん用麹菌の米糠甘酒が最も高かった。

米糠甘酒中のクエン酸含量（Fig. 4-5.）は、焼酎用白麹菌の米糠甘酒が234㎎／100gと最も高い値であり、みりん用麹菌や甘酒用麹菌、味噌用麹菌の米糠甘酒では、44㎎／100g、24～26㎎／100gとはるかに低い値であった。焼酎用白麹菌を用いることで、米糠甘酒中にクエン酸が多く生成し、細菌の繁殖が抑えられて、衛生的な米糠甘酒の調製がしやすいと考えられた。

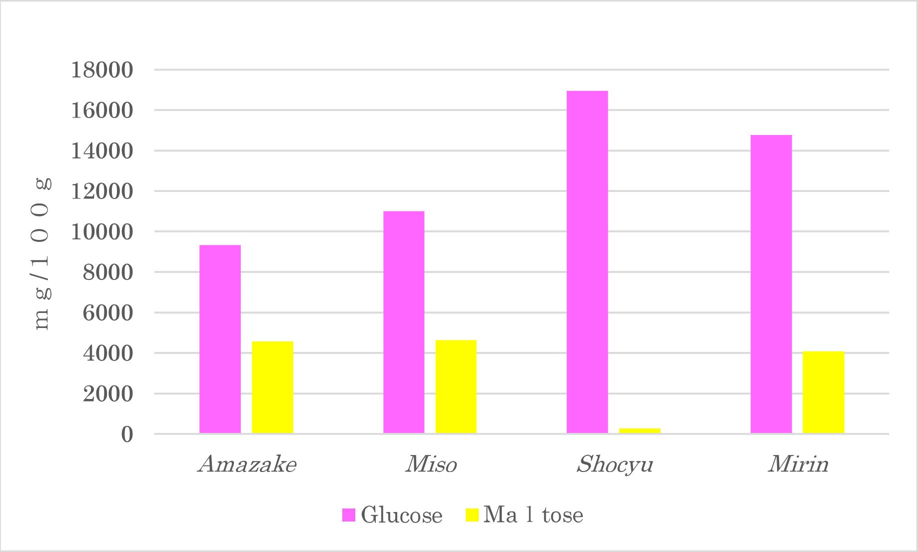


Fig. 4-4. Content of glucose and maltose in saccharified liquid of rice bran *koji* made by four *koji* mold

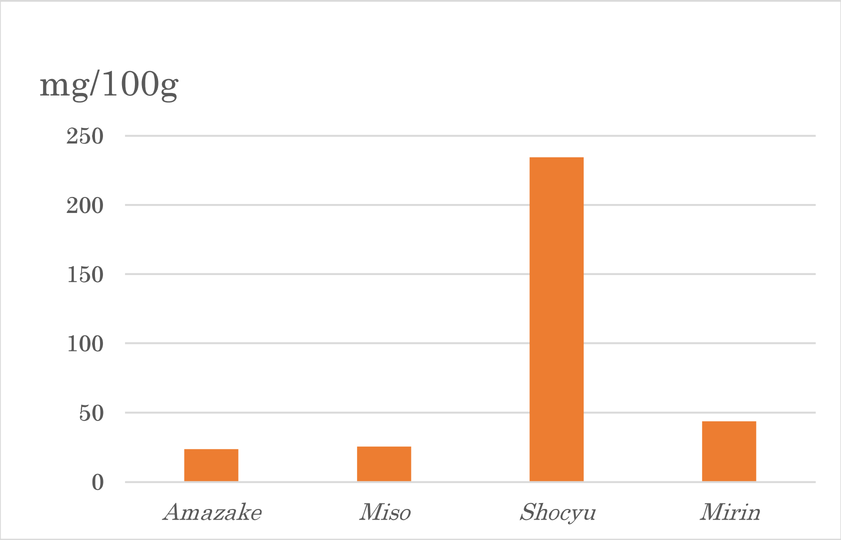


Fig. 4-5. Content of citcric acid in saccharified liquid of rice bran *koji* made by four *koji* mold

第4章の小括

100%米糠を原料とし、焼酎用白麹菌を用いて製麹した麹は、米粉や白糠等でんぷんの多い米素材を原料とした麹よりも、α-アミラーゼやグルコアミラーゼの糖化酵素の活性が高かった。

キシラナーゼ活性やフェルラ酸エステラーゼ活性は米糠麹で顕著に高く、米糠麹でデンプン以外の基質を分解する酵素生産が高いことを示唆していた。

フェルラ酸エステラーゼは、ヘミセルロースからフェルラ酸を遊離する酵素であり、米糠にはセルロース、ヘミセルロースが豊富に含まれるため、フェルラ酸エステラーゼが高生産されて、キシラナーゼとの相乗効果により多くのフェルラ酸が遊離したものと考えられた。

米糠麹の製麹とその糖化により、フェルラ酸を効率よく抽出することが可能であることを示すことができた。

米糠のみを原料とした麹のデンプンや食物繊維成分を分解する酵素の活性が高いことから、米糠単体で麹を製麹し、その後でんぷん質を多く含有する白糠や米粉などを基質として用いて、糖化液を調製することが、グルコースやフェルラ酸を遊離し抽出するために効率的な方法であると考えられた。

こうして調整した米糠麹やその糖化液は、健康機能性に富んだ食品素材として、また醸造用の素材として、高付加価値の食品創出の可能性を示すことができた。

第4章　引用文献

1)　遠藤修二郎，米糠利用の現状と新しい利用技術の開発，月間フードケミカル 2011 - 12，1－9，(2011)

2)　神村義則，米油製造業の歩みと産業構造，Techno Innovation，Vol.21 No.3，農林水産先端技術産業振興センター，7-11　(2012)

3)　倉澤文夫，米とその加工，建帛社，東京，27，(1982)

4)　石谷孝祐，米糠の機能性成分，新版米の事典 - 稲作からゲノムまで，幸書房，289 - 301，東京，(2009)

5)　谷口久次，橋本博之，細田朝雄，米谷俊，簗野卓夫，安達修二，米糠含有成分の機能性とその向上，日本食品科学工学会誌，Vol.59　No.7，301-318，(2012)

6)　高野克己，米糠脂質の分解機構に関する研究（総説），日本食品工業学会誌，36巻 6号，519-524，(1989))

7)　細山浩，大沢学，浜野光年，米糠麹中のビフィズス菌増殖促進物質，日本食品科学工学会誌，Vol.38　No.10，940－944，(1991)

8)　Andiansyah，H.Shirakawa，T.koseki，M.Komai，Novel Effects of a Single Administration of Ferulic Acid on the Regulation of Blood Pressure and the Hepatic Lipid Metabolic Profile in Stroke-Prone Spontaneously Hypertensive Rats，*J.Agric.Food Chem.*，56，2825-2830 (2008).

9)　L.Poquet，M.N.Clifford，G.Williamson，Transport and metabolism of ferulic acid through the colonic epithelium. *Drug etabol. Dispos.*，

36, 190-197 (2008).
10) 中村重信、佐々木健、阿瀬川孝治、伊丹昭、伊藤達彦、清原龍夫、河野和彦、松田桜子、水野裕、宮原覚、折笠秀樹、遠藤俊英, Ferulic acid と Garden angelica 根抽出物製剤 ANM176TM がアルツハイマー病患者の認知機能に及ぼす影響, *Geriat.Med.*, 46, 1511-1519 (2008)
11) 谷口久次, 野村英作, 簗野卓夫, 南晴康, 加藤浩司, 林千恵子, 特許第2095088
12) 尾形(斎藤)美貴, 木村英生, 飯村穣, 清酒製造工程の副生米ヌカを原料とする効率的乳酸生産, 食品科学工学会誌 Vol.61 No.7, 302-307 (2014)
13) 安本教傳, 五訂日本食品標準成分表分析マニュアル, 建帛社, 東京, (2006)
14) 佐藤正忠, フィチン酸利用開発の現状について, フードケミカル, 4, 48－58, (1986)
15) 石川正人, 天然物利用による食品の保存技術工業技術, 工業技術会, 東京, 115－117 (1981)
16) 小関卓也, 岩野君夫, 泡盛中のバニリンの意義と生成機構, 醸協, 93, 510－517 (1998)
17) T.Koseki, K.Takahashi, S.Fushinobu, H.Iefuji, K.Iwano,K.Hashizume, H.Matsuzawa, Mutational analysis of a feruloyl esterase from Aspergillus awamori involved in substrate discrimination and pH dependence,, *Biochim.Biophys.Acta.*, 1722,200-208 (2005)
18) T.Koseki,A.Hori, S.Seki, T.Murayama,

Y.Shiono, Characterization of two distinct feruloyl esterases, AoFaeB and AoFaeC, from Aspergillus oryzae, *Appl.Microbiol.Biotechnil.*, 83, 689-696 (2009)

総括

米の幅広い活用や有用な健康機能を付加した健康機能性食品など、価値の高い食品創出のために新しい加工技術が必要であると考え、米の加工活用の研究に取り組んだ。

第1章「米粉生産の現状と加工利用促進のための米粉加工技術の開発」では、現状の把握のため、山形県内で販売されている新規用途米粉を収集し、水分、粒度、デンプン損傷度、米粉の形状の観察など、品質の評価を行った。

その結果、粒度は概ね新規用途米粉として適正な範囲にあったものの、デンプン損傷率の高い米粉が多いという結果となった。デンプン損傷率の高い米粉は、パンに加工した場合、膨らみが悪いという問題点があるため、次に、乾式気流粉砕の米粉を用いて、副資材としての卵の添加によるグルテン添加米粉パンの膨らみの改善に取り組んだ。その結果、米粉パンの膨らみは、卵黄 3%～8%、全卵 5%～15%の添加で改善し、米粉パンとして自然な色調を示す適切な添加量は、卵黄 3～5%、全卵 5%と考えられた。

第2章「水挽き米粉の製造技術の開発」では、米を水挽きにより粉砕し、コストがかかる乾燥を行わずに高水分米粉のまま利用する方法について検討を行った。

水挽きした米粉の歩留りは、室温で 30 分以上浸漬することで 90%程度とほぼ一定になり、水分含量は 60 分以上の浸漬でほぼ一定となった。水挽きした米粉を電子顕微鏡で観察すると、粒子がそろって細かくなっており、5～

10μｍの六面体様の粒子が見られた。米粉の粒度分布は、体積頻度で最頻径6μｍと、非常に細かい米粉になっていることを示していた。また、デンプン損傷率は、室温で50分間以上の浸漬を行うことで２％以下と非常に低くなった。また、米の水挽きにおいては、浸漬温度は室温より上昇させない方が望ましいと考えられた。

以上、粒度が小さく均一な高水分米粉を高回収率で製造するために、吸水された水が米粒組織内に均質にいきわたっていることが重要と考えられ、室温で50～60分の浸漬を行った後に摩砕することが最適と考えらえた。

第3章「水挽き米粉の活用技術の開発」では、前章の条件によって得られた水挽き米粉を用いて、現在普及している乾式気流粉砕米粉から製造した加工品とどのような違いがあるのか検討した。水挽き米粉を用いた米粉パンは、乾式気流粉砕米粉を用いた米粉パンに比較してパンの膨らみが良く、食味官能評価で評価が高いことが示された。

第4章「米糠麹を用いた健康機能性成分を含む食品素材開発」では、米糠に含まれる機能性成分を生かした食味の良い食品素材の創出をめざして、米糠を原料とした麹を製麹する方法を検討した。甘酒用麹菌、味噌用麹菌、焼酎用白麹菌、味醂用麹菌の４種の麹菌によって米糠の麹を製麹し評価を行ったところ、焼酎用白麹菌を用いた米糠麹が各種酵素の活性が高く、米糠麹の製麹に適していた。次に、米粉及び白糠と米糠の混合割合を変えた原料から焼酎用白麹菌による麹を製麹し評価を行ったところ、米糠のみを原料とした麹が、デンプン分解に関わる酵素

の活性が高く、食物繊維の分解に関わるキシラナーゼやフェルラ酸エステラーゼの活性が特異的に高い結果となり、米糠のみを製麹することで、フェルラ酸を効率よく遊離する米糠麹ができることが示された。

以上、米糠のみを原料に麹を製麹することで、糖化力やフェルラ酸抽出力の高い麹が得られ、米の機能性を高めた食品の創出に有望であることが示された。

以上の研究により、小規模加工施設でも利用可能な、高品質の米粉の新しい製粉・加工技術や、米糠を原料とする健康機能性に富んだ新しい食品素材の創出につながる新しい加工方法を明らかにし、米の高付加価値加工技術の可能性を示した。

本研究の関連査読論文および研究業績

【査読論文】

Naoko KIJIMA Naoyuki KATUMI, Takeshi TAKASAGO, Tatsuya M. IKEDA, Makoto SHIMOYAMADA and Masazumi NISHIKAWA , Characterization of Rice Flour Milled with Water and Effects of Soaking Conditions, *Food Science and Technology Research,* **21** (6), 771－778, 2015

【特許】

特開 2015-112019「米糠麹の製造方法およびこれを用いた米糠麹糖化物、米糠麹穀物粉糖化物の製造方法」

特開 2015-188332「米糠麹穀物粉糖化物ないし米糠麹糖化物の乳酸菌発酵物およびその製造方法」

【学会発表】

鬼島直子，勝見直行，遠藤修二郎，川瀬漣，小関卓也，「半脱脂米糠麹による酵素生産と糖化液の特徴」，日本農芸化学会 2014 年度大会（2014 年）

鬼島直子，勝見直行，下山田真，西川正純，「水挽きによる米粉製造とその品質特性」，日本食品科学工学会平成 26 年度東北支部会（2014 年）

鬼島直子，勝見直行，高砂健，池田達也，下山田真，西川正純，「水挽き米粉の特性と米の浸漬条件」，日本食品科学工学会第 62 回大会（2015 年）

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始懇切なる御指導、御助言を賜り、本論文の御校閲を賜りました宮城大学大学院食産業学研究科教授西川正純先生、静岡県立大学食品栄養科学部教授下山田真先生に心から感謝申し上げます。

本研究を行うにあたり多くの御教示をいただき、本論文の御校閲を賜りました山形大学農学部教授小関卓也先生に心から感謝いたします。

本研究を行うにあたり、有益な御助言と御協力をいただきました山形県農業総合研究センター食品加工開発部の共同研究者である佐々木恵美氏、勝見直行氏、高砂健氏、及び食品加工開発部諸氏に心から感謝いたします。

本研究を行うにあたり、有益な御助言と討論をしていただきました共同研究者のサンブラン株式会社山口明社長、川瀬蓮氏、三和油脂株式会社の遠藤修二郎研究課長に心からお礼申し上げます。

本研究を行うにあたり、米粉の機器分析について多大なご協力をいただきました山形大学大学院理工学研究科教授西岡昭博先生に厚くお礼申し上げます。

本研究を行うにあたり、多大な御協力をいただきました農研機構近畿中国四国研究センター水田作研究領域小麦研究グループの池田達哉博士に厚くお礼申し上げます。

米粉サンプルの収集にあたり、御助言と御協力をいただきました山形県農林水産部新農業推進課及び各総合支庁の米粉振興担当者の皆様に感謝いたします。

また、研究期間中、常に温かく見守り激励してくださった食産業学研究科の諸先生方、ありがとうございました。