

氏名	鬼島 直子
学位の種類	博士（食産業学）
学位記番号	第14号
学位授与年月日	平成28年3月18日
学位授与の条件	学位規程第3条第3項該当
学位論文題目	米資源の高付加価値活用技術に関する研究
論文審査委員	主査 西川 正純 副査 下山田 真, 小関 卓也

論文の要旨

米は小麦とともに人間が直接食べることのできる穀物であり、日本においては100%自給が可能な主食である。現在、日本人の米の消費は1人当たり年間56.3kg（平成24年度）とピーク時の118.3kg（昭和37年度）の半分以下に減少している。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るなど、食品の消費傾向は大きく変化しており、日本の食料自給率は、カロリーベースで40%以下まで低下している。国内の水稻の生産を維持するためには、主食として米飯を消費する従来型の利用だけでは限界があり、さらに幅広い用途に活用することが必要であると考えられる。

米の幅広い活用のためには、米粉にして、パンや麺、さらに嗜好品である菓子類に加工する方向が考えられる。農林水産省では、平成20年度より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をスタートさせている。

また、消費者の健康志向の高まりにより、食品には健康機能性が求められている。米に関しても健康機能に着目した新たな活用の取り組みが進んでいる。トコトリエノールや γ -オリザノール、フェルラ酸など有用な生理機能を持つ米の機能性成分のほとんどは、表皮と胚芽から成る米糠に含まれている。また、米糠には食物繊維が多く含まれることから、現代人の健康維持に有用な食品素材であると考えられる。一方で、米糠は独特な臭いや食感を持ち、食用としては好まれない。食品として活用するためには、機能性成分を生かし、食味の欠点を補うような新しい加工活用技術が必要であると考えられる。

日本の食は、近年、海外でも人気が高まっており、日本食には大きなビジネスチャンスが広がっている。こうした中で、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。

2. 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

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、小麦粉と同じ方法による製粉では粒子径が粗いことが知られている。小麦粉並みの粒径の新規用途米粉への製粉のために、二段階製粉や気流粉碎などの新しい方法が開発されている。

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て、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。県内に普及している小型の気流粉碎機による乾式製粉の特性に由来す

ると考えられた。

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。そこで、乾式気流粉碎の米粉について、副資材としての卵の添加による米粉パンの膨らみの改善に取り組んだ。グルテン添加による米粉パンの製パンにおいて、卵黄及び全卵の添加量を変えてパンを焼成し、パンの品質を調査した。その結果、米粉パンの膨らみは、卵黄3～8%、全卵5～15%の添加で改善した。卵黄・全卵とも添加量が多いとパンの黄色味が増すため、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。

3. 水挽き米粉の製造技術の開発

米は、水に浸漬した状態では柔らかく粉碎しやすくなり、安価な小型の機械での処理が可能になる。そこで、米を水挽きにより粉碎し、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。小型の加工機器を用いて水に浸漬した米の粉碎を行ったところ、電動石臼（セラミック臼）による摩砕方式で、微細な米粉を歩留り良く得ることができた。そこで、電動石臼を用いた米の水挽き製粉に取り組み、水挽きを行う前処理としての米の浸漬条件について検討し、水挽き米粉の特性を評価した。

水挽きによる高水分米粉の製粉の方法は以下のとおりである。精米を常温で水に一定時間浸漬した後、浸漬米重量の2倍の水と共に電動石臼で粉碎する。この粉碎物を自然落下及び遠心脱水によって水切りすることで、高水分（水分45%程度）の米粉が得られる。

浸漬時間を変えて検討したところ、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った。一方、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、粒子がそろって細くなっており、5～10 μm 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6 μm と、非常に細かい米粉になっていることを示していた。浸漬時間の違いにより、米粉の形状や粒度分布に違いは見られなかった。また、デンプン損傷率は、室温で50分以上の浸漬を行うことで2%以下と非常に低くなった。

以上、室温で50分水中に浸漬した後に、電動石臼により摩砕することにより、デンプン損傷の少ない微細な米粉が得られることを明らかにし、水挽き米粉の特性を示し、水挽きにおける米粉粉碎のメカニズムについて考察した。

4. 水挽き米粉の加工活用技術の開発

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碎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。水挽き米粉と乾式気流粉碎米粉で、グルテンを15%添加した米粉パンを製造し、米粉パンの品質について比較したところ、水挽き米粉を用いた米粉パンは、乾式気流粉碎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。水挽き米粉が微細であり、かつデンプン損傷が少ないことによる効果と推察された。

また、水挽き米粉に含まれるタンパク質を分析したところ、水挽きによって減少するタンパク質は5～10%程度であった。クッキーやシフォンケーキの加工を行い、水挽き米粉の製菓特性について確認した。

5. 米糠麴を用いた健康機能性成分を含む食品素材開発

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、米糠を原料とした麴を製麴する方法を検討した。まず、甘酒用麴菌、味噌用麴菌、焼酎用白麴菌、味醂用麴菌の4種の麴菌によって米糠の麴を製麴し、麴の糖化液の品質、デンプン分解や食物繊維分解に関わる酵素活性について評価を行った。その結果、焼酎用白麴菌

を用いた米糠麴が各種酵素の活性が高く、米糠麴の製麴に適していた。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麴菌による麴を製麴し、酵素活性や糖化液の品質を評価した。その結果、米糠のみを原料とした麴が、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かった。米糠のみを原料として焼酎用白麴菌により製麴することで、フェルラ酸を効率よく遊離する米糠麴ができることが示された。またこの方法による麴の糖化液にはクエン酸が多く含まれ、腐敗しにくいという利点があった。

以上のことから、米糠のみを原料に麴を製麴することで、糖化力やフェルラ酸抽出力の高い麴が得られ、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。

6. 総括

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。

審査結果の要旨

米は主食として日本人の食生活を支えるとともに、清酒、米菓、味噌、和菓子等、数多くの米加工食品に利用されている。しかし国内の米の消費（供給）量は、昭和37年の118.3 kg/年・人をピークに年々減少し、平成24年には約56.3 kg/年・人にまで落ち込んでいる。このような情勢の中で、昭和50年代より米の消費拡大ならびに用途拡大が強く求められ、種々の食品や技術が検討・開発され、現在に至っている。その一環として、従来の米粒のまま利用・加工を行う粒食から、パン・麺等の新規用途への適用を想定して一旦粉砕した後に加工利用を図る粉食が提唱されるようになってきた。

本論文の提出者は、地域の農産物を加工して高付加価値化するための食品加工技術の開発の一環として、地域で実施可能な技術の開発に取り組み、実用的な見地から、新規用途に適した米の製粉技術と米粉の加工技術の研究、さらに精米時の副産物である米糠の食品としての活用をめざした研究を進めてきた。本論文は、地域で流通している新規用途米粉の問題点の把握、及びその欠点を補うための副資材の添加の検討に加え、米の特性に合った水挽き法による粉砕技術の確立を目指し、水浸漬の条件の比較検討、水挽き法による米粉の加工特性を検討した。さらに米糠活用のための麹菌による発酵技術、健康機能性の開発研究にまで取り組み、米の高付加価値活用技術の知見を取りまとめたものである。

審査委員会は、まず、スライドによる詳細な説明を課し、スライドごとに論文内容について試問した。論文全体として、①論文の構成と各章の関連性の明確化、②用語の統一、③文章表現の修正・加筆、④考察が足りない部分の追加、⑤写真の追加などの指摘事項を踏まえながら、各章ごとに審査を行った。審査結果の内容は次の様に要約できる。

序章では、世界の米と日本の米についての概説、日本における米の消費の現状と自給率向上の取り組み、世界の貿易における日本の米、米を原料とする食品製造における新しい加工技術の重要性、健康機能性を持つ原料としての米の可能性について論述している。審査委員会は、米の新規用途開発の現状、米の機能性食品開発の現状など、本論文の背景となる基本事項を試問し、明確な回答を得た。また、世界の貿易における日本の米に関する記述が、どのように各章の内容につながるか試問し、やや説得力に欠ける説明ではあったが、記述に問題はないと判断した。

第1章では、地域で生産・流通している新規用途米粉の品質について現状把握のための調査を行い、汎用されている乾式気流粉砕米粉を取り上げ、パンに加工した際の問題点（パンの比容積が小さくなる）を改善することを目的に、副資材としての卵の添加を実施している。その結果、パンの比容積を改善し、米粉パンとして許容可能な色調を示す卵黄・全卵のそれぞれの添加量を明らかにしている。審査委員会は、卵黄・全卵の添加の効果の理由などを試問し、概ね適切な回答を得た。

第2章では、電動石臼を用いた水挽きによる米の製造研究に取り組み、水挽き時の米の前処理としての浸漬条件について検討を行うとともに、水挽きの米粉の特性を評価している。その結果、室温で50～60分間浸漬することにより、高収率で水分含量45%程度の、微細でデンプンの損傷の少ない米粉を得られたこと、電子顕微鏡観察では、5～10 μ mの六面体様の粒子が観察され、米粉の粒度分布は体積頻度で6 μ mと非常に細かい米粉となっていたことを示し、水挽き米粉の有用性を明らかにしている。審査委員会は、水挽きの米粉粉砕における水の役割などについて試問し、適切な回答を得た。

第3章では、水挽き米粉の加工活用として、グルテン添加条件における米粉パンの製パンに取り組み、前章の条件の水挽き米粉と乾式気流粉砕米粉を用いた米粉パンの品質の比較検討を試みている。その結果、水挽き米粉は、現在汎用されている乾式気流粉砕米粉に比較して、パンにした場合の膨らみが良好であること、食味官能評価において評価が高いことを示した。審査委員会は、水挽き米粉の加工に関しての問題点について試問し、明確な回答を得た。

第4章では、精米時の副産物である米糠の活用のため、米糠麴を用いた健康機能性成分を含む食品素材の開発を目標に、米糠を麴にするための、麴菌の比較検討と、米糠と米粉及び白糠の混合比に関する比較検討を行っている。その結果、焼酎用白麴菌を用いた米糠麴で各種酵素の活性が高く、米糠麴の製麴に適していること、米糠のみを原料とした麴においてデンプン分解に関わる酵素生産が高く、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ことを示した。審査委員会は、実用化に向けた米糠麴の活用に関する問題点や、食品加工におけるフェルラ酸エステラーゼ活用の意義について試問し、適切な回答を得た。

本論文は、現状の米粉生産とその活用に対して、新たな展開を示唆する水挽きによる米粉生産の可能性を示した。この研究成果は、初期投資を抑えた地域ビジネスに適用可能な食品加工技術として食産業に貢献するものと判断される。また、米糠から健康機能性成分であるフェルラ酸を効率的に産生・抽出するための有効な方法を示した。この研究成果は、未利用資源の活用および新たな機能性食品の開発に貢献するものと判断される。

以上のことから、本論文は博士論文に値するものと認める。