

氏 名 : 谷口 明日香
学 位 の 種 類 : 博士 (学術)
学 位 記 番 号 : 博甲第 20 号
学位授与の日付 : 令和 4 年 3 月 18 日
学位授与の要件 : 東京家政大学学位規程第 3 条第 2 項該当
人間生活学総合研究科
学位論文題目 : The factor affecting rheological properties of barley batter and dough
– A study using barley flour different in particle properties
論文審査委員 : (主査) 准教授 小林 理恵
教授 濱田 仁美
特任教授 都築 和香子
教授 三浦 靖 (岩手大学)
上級研究員 池田 達哉 (農研機構西日本農業研究センター)

論文内容の要旨

本学位論文では、大麦粉製品の研究開発における基盤的研究として、大麦粉生地 of 力学特性に影響を及ぼす因子の解明を試みた。序章においては大麦に関する現状と課題を背景に、本研究に取り組む意義と目的を示した。第 1 章においては、粒子特性のうち 4 因子に着目し、それらが及ぼす力学特性への影響について、第 1 節では固体粒子から、第 2 節では分散媒から検討し、その成果を第 3 節にて粒子の分散状態モデルにまとめた。これをふまえて第 2 章では、粒子径が異なる大麦粉を使用する際の加水量の変動を生地濃度別に検討した。最後に総括として、本論文の成果を整理し今後の展望を述べた。

序章 大麦に関する現状と課題

近年、大麦は優れた健康機能性が明らかにされ、日本での国内生産が推進されている。そのような大麦を有効に活用するため、従来から利用されている粒状の利用に加え、様々な調理品に加工できる「大麦粉」の用途拡大が課題とされている。

穀物粉製品の製造においては、加水量の加減により生地の力学特性を製品ごとに適した状態に整える必要がある。しかし、大麦粉においては、生地の力学特性を変動させる因子が未だ不明であり、生地調製時の加水条件の設定が難しい。どのような因子を考慮して加水量を調節すべきなのか、これは大麦粉製品の研究開発において解決すべき課題である。

そこで、大麦粉製品の製造における加水指標を得るため、大麦粉生地の力学特性に影響を及ぼす因子を明らかにすべきと考えた。本論文はその第一段階として粒子特性に焦点を当て、大麦粉生地の力学特性への影響を解明することを目的とした。

第 1 章 粒子特性が及ぼす大麦粉生地の力学特性への影響

本節では、粒子径及びその分布を示す多分散度、損傷デンプン含量、空間率の粒子特性の違いが大麦粉生地の力学特性に及ぼす影響を明らかにし、さらにそれらの中でも加水指標として有用

な因子を抽出することを試みた。

本研究試料には、遺伝的背景及び日本における流通量を考慮し、ファイバースノウを選択した。これを衝撃式粉碎機にて異なる目開きサイズのスクリーンを用いて粉碎し、粒子特性 4 因子のみが異なる 3 種の大麦粉試料を得た。これに 5 水準で加水した生地を調製し、その力学特性を比較した。その結果、粒子特性が及ぼす力学特性への影響は、加水率すなわち生地濃度により異なり、生地濃度の高いドウ生地（加水率 100–150%）ではその違いは認められなかった。一方、バター生地（加水率 200–300%）においては、試料間で動的粘弾性及び降伏値に違いが見られた。そこで、回帰分析により粒子特性 4 因子が及ぼす大麦粉バターの力学特性への影響度を、偏回帰係数及び調整済み決定係数より比較したところ、いずれの濃度水準においても粒子径が共通して影響しており、大粒子径の大麦粉バターでは生地の力学特性値が低いことを明らかにした。さらに、大麦粉の生地濃度による β -グルカンの存在形態の違いを蛍光顕微鏡により明瞭に捉えることに成功した。これをふまえ、バター生地の分散媒を比較すると、大麦粉バターの分散媒には β -グルカンが溶出しており、大粒子径の大麦粉生地では分散媒の β -グルカン濃度及び分散媒の粘性も低かった。したがって、粒子径の相違は分散媒における β -グルカンの溶出濃度にも影響し、これがバター生地の力学特性に影響を及ぼすことが推察された。これにより、他の穀物粉には見られない大麦粉生地の特異性を見出すことができた。

大麦粉製品の研究開発を推進するには、この因子間の複雑な関連性を可視化し把握する必要がある。そこで、大麦粉生地の特徴の理解を広く促すために、以上の実測データを可能な限り反映させ、濃度が異なる大麦粉生地ごとに粒子の分散状態モデルを作成した。

第 2 章 粒子径が及ぼす大麦粉生地の力学特性への影響をふまえた加水量の調節

現在流通している大麦粉の粒子径は製品ごとに異なるため、使用する大麦粉が変わればその粒子径も異なる可能性がある。これにより力学特性に相違が生じる場合は、加水量の調節によりその差を解消する必要がある。また、実際の製品製造における生地は、ケーキ用や天ぷら衣用等、目的とする製品により生地濃度が異なる。そこで、本章では、各バター生地における必要な加水調節量を検討し、その調節量と生地濃度との関連を明らかにすることを目指した。

本実験では、大粒子径試料の動的粘弾性を小粒子径試料の挙動に近づけることを想定し、加水率（生地濃度）別に必要な加水量の調節量を求めた。加水率とそれぞれの加水調節量との関連を検討した結果、必要な加水調節量は一定ではなく、加水率が高くなるほど、すなわち生地濃度が低くなるほど小さいことを明らかにした。しかし、生地濃度が異なる製品ごとに加水調節量の目安を得ることは困難である。そこで、調節した加水量を容易に予測できる方法を検討した。本研究試料においては、生地濃度と加水調節量との関連から調節した加水量の予測式を構築した。この調節方法を実際の製品製造や日常の調理に応用するには、流通する大麦粉の粒子径の違いから「粗粉」「微粉」などのカテゴリに分ける、すなわち規格化することが必要であろう。大麦粉を食品産業界ならびに消費者にとって使いやすくするためには、力学特性に影響を及ぼす因子を見出すだけでなく、さらにその違いを整理することが今後の大きな課題であると考えられる。

総括

本論文では、大麦粉生地の力学特性に影響を及ぼす因子を、粒子特性に焦点を当てて追究した。その結果、粒子特性が及ぼす影響は、加水率すなわち生地濃度により異なった。パン、ドーナツ、

クッキーなどのドウ製品において、粒子特性は生地の力学特性に影響しない。そのため、粒子特性が異なっても製品ごとに一定の加水率を適用できる。一方で、クレープ、天ぷら、ケーキなどのバター製品においては、粒子径及びそれに伴う β -グルカンの溶出が力学特性に影響することが示唆された。そのため、使用する大麦粉の粒子径に合わせた加水量の調節が必要であり、その際の調節量は生地濃度が低いほど小さいことが明らかになった。以上の検討より、大麦粉生地の加水指標の一つとして、粒子特性の中でも粒子径が活用可能であると考ええる。そのため、各大麦粉メーカーには、製品の粒子径に関する情報を公開することを提案する。

本研究の成果は、大麦粉製品の研究開発への活用を期待している。さらに検討を加えることで、大麦粉の利用拡大、ひいては生産者の支援につながるものと確信している。今後も、調理科学分野から大麦の利用拡大の一助となる研究を進めたい。

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、大麦粉製品を調製する際の加水条件の設定指標を得るため、その第一段階として粒子特性が与える力学特性への影響を追究したものであり、序章「大麦に関する現状と課題」、第1章「粒子特性が及ぼす大麦粉生地 of 力学特性への影響」、第2章「粒子径が及ぼす大麦粉生地 of 力学特性への影響をふまえた加水量の調節」、得られた知見の総括からなる。

序章では、大麦に多く含有する水溶性食物繊維の β -グルカンの機能性などを主体に、食品としての利点が明確にまとめられており、十分な文献レビューがされていると認められる。一方でその利用法は限定的で、利用拡大を図るためには大麦の粉食用途の創出が必須であるとし、その場合、「最も難航するのは加水条件の設定である」と自身の研究の経緯を踏まえて主張している。つまり、生地を目的の調理品に適した力学特性にするための加水量の設定を予測する因子が大麦粉では明らかにされていないため、これが解決すべき課題であると問題提起している。加水条件の決定根拠となり得る大麦粉のパラメータは複数考えられるため、各因子とその変動による大麦粉生地の力学特性の挙動との関連性を一つ一つ根拠強く丁寧に追究しなければ、加水指標の確立に至らない。そのため、系統的な研究計画を立案し、その第一段階として、主因子として有力な粒子特性にまず着目した点は、妥当であると考ええる。

本学位論文の主要部である第1章は3節で構成されている。第1節では大麦粉生地を固体粒子からの視点で検討している。まず、本研究の材料として用いたファイバースノウについて遺伝的系統解析により類縁関係を示しその妥当性を検証している。この大麦の製粉方法が独創的であり、成分組成を変えずに粒子特性のみが異なるように3種の試料粉を自作しており、これが本研究の成果を導くための要となっていると評価する。大麦粉生地はドウからバターまで広範囲の生地濃度（5水準）を調製し、その力学特性（流動特性、降伏値、動的粘弾性）から、ドウでは粒子特性の影響を受けないことを明らかにした。バターにおいては力学特性に及ぼす粒子特性（粒子径、粒子径分布、損傷デンプン含量、空間率）の関連性を回帰分析により解析し、粒子径が加水指標となり得る粒子特性パラメータであると結論付けている。しかし、大麦において新たな染色法を用いた蛍光顕微鏡による構成成分の解析により、生地濃度により β -グルカンの挙動の相違が認められたため、粒子径だけで力学特性の変動を説明できない可能性が示された。これを受けて第2節では、大麦粉生地の分散媒への β -グルカンの溶出濃度とそれに伴う定常流粘度及び動的粘性率を測定し、粒子径に伴う比表面積の相違が β -グルカンの溶出濃度を変動させるという仮説を堅実に立証した。すなわち、第3節の粒子の分散状態モデルで整理されるように、大麦粉バターの力学特性には粒子径とそれに伴う β -グルカンの溶出が影響していることが結論付けられている。これは大麦粉生地調製の特異性を可視化し、大麦粉製品の開発研究の基盤として、大麦粉の理解を促すモデルを構築したことは非常に有益であると評価する。一方で、本試料は双峰性の粒子径分布を示すため、どのような粒子径分布であっても粒子径の大小に依存するという点は、今後さらなる検証を加え、粒子径の大小で表現されるモデルの信頼性を高める必要がある。

第2章では、同一製品を粒度の異なる大麦粉でそれぞれ調製することを想定し、バターの力学特性の相違を加水量の補正により調整する予測式を導出し、活用の可能性を検証した。予測式自体は限定的であるが、今後、精粉業界において規格基準の設定により粒子径により「細粉」「粗粉」などのカテゴリ化が実現すれば、同様の手法を用いて予測式を設定することにより加水量の適正化が容易に実現すると期待する。これは大麦粉製品の加工利用研究の促進化に向けて、大きな成果であると言える。

本論文は、国際的に成果を共有できるよう全文英語で作成されており、論旨の展開にも優れた点が認められる。また、独創的かつ多面的な手法により導き出された知見は、信頼性が高く十分な新規性を認める。成果は筆頭著者として欧文誌 1 報、邦文誌 2 報にも学術原著論文として掲載されている。これらの研究業績は、谷口氏が自立して独創的な研究活動を行うに十分な能力と学識を有することを証したものである。今後は、現在投稿中としている論文を含め、投稿予定の論文が学術誌に掲載されることで本成果が多様な視点で討議されることを望む。

以上の研究成果は、大麦粉製品の創出に関わる研究者の基盤的知見として活用されるのみならず、大麦生産者による六次産業化の推進につながる社会的意義の高い成果であると評価する。さらに研究成果を蓄積し、生産者支援や生産地域の活性化、さらには人々の健康維持に寄与する貢献ができるよう調理科学研究者としての発展を期待する。

以上、審査員一同、本論文の審査ならびに最終試験の結果を総合的に判断し、博士（学位）論文として十分に値すると認める。