

称号及び氏名	博士(応用生命科学) 三宅 一 嘉
学位授与の日付	平成 19 年 2 月 2 0 日
論 文 名	「段階式製粉法による蕎麦粉の成分特性と食品加工への応用に関する研究」
論文審査委員	主査 森田 尚文 副査 中野 長久 副査 宮武 和孝

## 論文要旨

### 第 1 章 序論

近年の生活様式の洋風化とともに米の消費量が減少しているが、擬穀類 (pseudo-cereal) に属する蕎麦はタンパク質のアミノ酸スコアが高く、栄養成分のバランスが良好なこと、また、その優れた機能性をもつことから食される機会がふえてきた。特に、我が国の蕎麦の消費量は 1960 年代の年間 4 万トンから 16 万トンに増加しており、今後も増加が期待できる。

食用作物として栽培されている普通ソバ(*Fagopyrum esculentum*)の穀粒はタデ科に属するため、その形状もイネ科のものとは異なり、胚芽が穀粒の中心に存在する。このため製粉方法も小麦のそれとは若干異なっており、未だその製粉方法も十分に確立されているとは言いがたい。この製粉方法は製粉各社により違いはあるものの、通常はソバの抜き実を破砕ロール(Brake roll)、粉碎ロール(Smooth roll)により順次製粉する段階式蕎麦製粉工程により 17 種類にも画分されるので、これらのそば粉中のタンパク質特性、アミノ酸組成および重篤なアレルギー症を惹起する食物アレルゲンの蓄積傾向を明らかにすることができる。

近年、発芽穀類の機能が注目され、発芽処理は玄米、豆もやし、麦芽などに使用されることにより、γアミノ酪酸(GABA)、フェルラ酸、フィチン酸、食物繊維が増加し、癌や成人病の予防に役立つ有効な方法である。この発芽そばを我が国の伝統醗酵食品である納豆、味噌に応用すると GABA の増加のみならず、アレルゲンの低減化が可能と考えられる。

また、パスタやクッキーは消費量が増加している加工食品である。近年の老齢化に伴う咀嚼力の低下の懸念により、そば粉を小麦粉に代替することにより最終製品の色相や食感といった物性の改善のみならず、栄養性の改善、機能性の付与がなされることが期待でき

る。

一方、ソバの製粉に際しては、そばの香り、味、粘弾性を劣化させる粉碎熱の発生をどのようにコントロールするかについては従来から製粉会社に課せられた重要な問題のひとつである。ロール製粉機では粉碎能力は大きいものの、現状の水冷装置では粉碎熱を低下させるには不十分である。この目的のためには、液化冷媒の利用により結露を起こすことなく、組織が変化しないそば粉の調製が可能となるヨーロッパの大型石臼製粉機を使用してソバの抜き実を製粉し、各種の分析することによりソバの最適製粉法を考察する上で重要である。

以上の見地より、段階式製粉法により画分されたそば粉の成分特性、発芽ソバの醗酵食品への利用における機能性と低アレルギー化、そば粉の加工食品への応用、蕎麦の低温石臼製粉法を検討したので以下報告する。

## 第2章 段階式蕎麦製粉工程における各種画分の成分特性について

ソバの穀粒を「段階式製粉法」により、17種類に画分されたそば粉と、これらの画分を組み合わせた特等粉(FS)、1等粉(F1)、2等粉(F2)、3等粉(F3)および皮粉(FBB)について各種の分析を行った。内層部では灰分量が少なく、各種画分のタンパク質量と灰分量には相関関係が認められた。ソバの製粉による粉歩留まりと灰分量の関係を表す灰分曲線(Ash curve)では60%位までは殆んど胚乳部であった。

各種画分中に存在するミネラル成分は F1、F2、F3 と中心層から種皮層にかけてカルシウム、鉄、カリウム、マグネシウムが増加しており、FBB ではカルシウム、カリウムが顕著に多く認められた。

アミノ酸分析の結果、その組成には各画分で顕著に差があり、FS、F1 はデンプンが主体の画分であった。F2、F3 については比較的組成が類似していたが、F3 ではアミノ酸総量が多く、特に GABA は全粒粉の約 25 倍の 310 mg/100g であった。

そば粉のタンパク質はグルテンを形成しないアルブミンとグロブリンの混合物が主要なタンパク質で、そば粉の4種類のたんぱく質中のアミノ酸組成は、アルブミンとグルテリンでは比較的類似しており、グロブリンにはアルギニンの多いのが特徴であった。プロラミンにはグルタミン酸とプロリンが特に多く、一方、リジンとグリシンが少ない傾向を示した。

17画分のそば粉を用いてそば粉中の水溶性タンパク質を抽出し、15%アクリルアミドゲルによる SDS-PAGE をおこない、ついでソバアレルギー患者の血清を用いて免疫ブロッキングをおこなった。SDS-PAGE では分子量 50 kDa 以上の領域ではソバ穀粒の内層に向かって減少し、顕著な減少が見られたのは分子量 22 kDa と 15 kDa 付近のタンパク質であった。更にこれらのタンパク質は免疫ブロッキングにより主要アレルギーである分子量 22 kDa の Fag e 1 と 15 kDa の Fag e 2 であった。以上の結果より内層に近い画分が低アレルギー性のそば粉であることが明らかになり、Fag e 1 が完全に消失した画分をアレルギー

ンレスのそば粉としての開発が可能となった。

### 第3章 発芽ソバの機能性と醗酵食品への利用開発研究

ソバ穀粒の発芽は 25°C、12 時間おこない、ついで凍結乾燥後粉碎して試料を調製した。この粉末試料の遊離アミノ酸は発芽に伴いアスパラギン酸とグルタミン酸が減少したが、アラニン(6 倍)、GABA(4.4 倍)、アルギニン(2.1 倍)が顕著に増加した。この GABA の増加はグルタミン酸の脱炭酸により生成することが推察された。

納豆と味噌の調製に、この発芽ソバを使用し、醗酵中のアレルゲンタンパク質の変化と製品の機能特性を検討した。味噌は醗酵時間の経過と共に pH の減少、総滴定酸度の増加が認められ、60 日間の醗酵後の外観は茶色に変化した。納豆と味噌中の GABA の含量は醗酵時間の経過と共に明らかに増加し 48 時間と 60 日間でそれぞれ 2~3 倍になった。一方、納豆と味噌のマルトース含量は醗酵に伴い減少したが、ラクトースは醗酵中に多く生産された。免疫ブロッティングにより、納豆と味噌における主要アレルゲンタンパク質の IgE 結合は醗酵時間の経過と共に弱くなることがわかった。従って発芽ソバの使用は低アレルゲンあるいはアレルゲンレスのソバ納豆とソバ味噌の製造を可能とし、栄養、味と共に機能性の改善が期待できる加工食品への応用が明らかとなった。

### 第4章 そば粉の加工食品への応用に関する研究

小麦粉の一部をそば粉で代替しパスタおよびクッキーの品質におよぼす影響について検討した。パスタとクッキーの調製には、そば粉は抜き実 100%で構成された明るい色のそば粉(LBW)と 81%の抜き実と 19%のソバ殻で構成された濃い色のそば粉(DBW)を用い、そば粉とその製品の品質評価に用いた。そば粉の代替により生地吸水量は多くなり、アメリカ産の軟質白小麦(Western white)の小麦粉(AWW)で調製した生地より弱い生地となった。AWW に対し LBW や DBW の代替量の増加に伴い吸水量も増加したが、この原因は AWW に比べて LBW、DBW の水分量が少ないためと考えられる。市販の硬質小麦粉(1CW)やデュラムセモリナに 30%以上の LBW を加えても、1CW のパスタのサンプルと比較して抗張力の値には影響が認められず、そば粉の代替が可能となった。1CW の 30%以上を DBW に代替することより調製したパスタの官能評価は、1CW のパスタに比べて香りや硬さはほぼ同等であった。AWW に 30%以上の LBW を代替したクッキーの白さは DBW のそれより増加したが、AWW に LBW や DBW を代替すると焼成中のクッキーペーストの広がりや抑えられ、かつ焼成されたクッキーの硬さが減少してサクサク感を良好にした。以上の結果より、そば殻を含む DBW の応用は加工食品に、新しい食味と機能性を付加する事が期待できた。

## 第5章 蕎麦の低温石臼製粉法による品質改良作用について

ソバの製粉には、粉碎熱の上昇を抑える為には回転数を少なくして、かつ熱伝導の少ない蟻巣石が使用され、またロール製粉機も水冷式ロールを使用して発熱を抑えているが、粉碎熱をコントロールする方法としては十分でない。

このため発熱を抑制するために液化炭酸ガスを使用するヨーロッパ式低温石臼製粉法が開発された。この方法により 10°C(F10)、15°C(F15)、20°C(F20)、32°C(F32)の各温度で製粉した4種類のそば粉と、2等粉(2BF)および三宅製粉(株)の石臼挽きそば粉(花臼)の成分分析を行った。低温で調製したそば粉は花臼と2BFと類似しているか、或いは更に揮発性の香りを有するそば粉の製造に効果的であった。特にF10とF15は花臼よりも低灰分、低脂肪酸度、粘弾性、白度において有効な性質を示した。以上の結果、ヨーロッパ式低温石臼製粉法は花臼の性質に近いそば粉を、高品質で大量に調製するのに適した方法と考えられた。

以上、ソバ穀粒の段階式製粉法により得られた各画分を分析することにより、これらの成分特性、機能特性が明らかとなった。特に機能性物質のルチン、GABAあるいはアレルゲン物質の局在が明らかとなり、これらの知見は各種食品加工への有効利用が期待される。また、低温石臼製粉法の新規導入により、より有効な加工特性、栄養特性を有するそば粉の調製が可能となった。更に、ソバ穀粒を発芽処理することによりアレルゲンの低減化が可能となり、ソバ納豆、ソバ味噌等の新規な食品の加工への利用を明らかにした。

## 審査結果の要旨

近年の生活様式の洋風化とともに米の消費量が減少しているが、擬穀類に属するソバはタンパク質のアミノ酸スコアが高く、栄養成分のバランスが良好なこと、また、その優れた機能性を持つことから食される機会が増えてきた。特に、我が国のソバの消費量は1960年代の年間4万トンから16万トンに増加しており、今後も増加が期待できる。

食用作物として栽培される普通ソバ(*Fagopyrum esculentum*)の穀粒はタデ科に属するため、その形状もイネ科のものと異なり、胚芽が穀粒の中心に存在する。このため製粉方法も小麦のそれとは若干異なっており、未だその製粉方法も十分に確立されていない。

申請者は、段階式製粉法により画分されたそば粉の成分特性とアレルゲンの局在性、発芽ソバの醗酵食品への利用における機能性と低アレルゲン化、そば粉の加工食品としてのパスタとクッキーへの利用、蕎麦の低温石臼製粉法による品質改良作用についての研究を行なった。

第1章では、植物としてのソバの特徴とそば粉の歴史や消費の現状について述べ、また本研究の目的について述べた。

第2章では、段階式蕎麦製粉工程における各種画分の成分特性についての研究で、ソバの穀粒を「段階式製粉法」により、17種類に画分されたそば粉と、これらの画分を組み合

わせた特等粉(FS)、1等粉(1F)、2等粉(2F)、3等粉(3F)および皮粉(FBB)について各種の分析をおこなった。内層部では灰分量が少なく、各種画分のタンパク質量と灰分量には相関関係が認められた。各種画分中に存在するミネラル成分は、F1、F2、F3、と中心層から種皮層にかけてカルシウム、鉄、カリウム、マグネシウムが増加しており、FBBではカルシウム、カリウムが顕著に多く認められた。アミノ酸分析の結果、その組成には各画分で顕著な差があり、FS、F1はデンプンが主体の画分であった。F2、F3については比較的組成が類似していたが、F3ではアミノ酸総量が多く、特にGABAが全粒粉の約25倍の310mg/100gであった。また、内層に近い画分が低アレルギー性のそば粉であることが明らかとなり、アレルギーレスのそば粉の開発を示唆した。

第3章では、発芽ソバの機能性と醗酵食品への利用開発についての研究である。ソバの遊離アミノ酸は発芽に伴いアスパラギン酸とグルタミン酸が減少したが、アラニン(6倍)、GABA(4.4倍)、アルギニン(2.1倍)が顕著に増加した。このGABAの増加はグルタミン酸の脱炭酸により生成することを示唆した。納豆と味噌の調製に、この発芽ソバを使用し、醗酵中のアレルギータンパク質の変化と製品の機能特性を検討した結果、味噌中のGABA含量は60日間で約3倍に増加した。免疫ブロッティングにより、納豆と味噌における主要アレルギータンパク質のIgEの結合は醗酵時間の経過と共に弱くなることを示した。従って発芽ソバの使用は低アレルギー或いはアレルギーレスのソバ納豆とソバ味噌の製造を可能とし、栄養、味と共に機能性の改善が期待できる加工食品への応用を明らかにした。

第4章では、そば粉の加工食品としてのパスタとクッキーへの利用研究で、小麦粉の一部をそば粉で代替してパスタ及びクッキーを調製した。硬質小麦粉(1CW)やデュラムセモリナに30%以上のソバ全粒粉(LBW)を加えても、1CWのパスタと比較して抗張力、香り、硬さは、ほぼ同等で、そば粉の代替が可能であることを明らかにした。軟質小麦粉(AWW)に30%以上LBWを代替したクッキーの白さは殻付きソバ全粒粉(DBW)のそれより増加するが、AWWにLBWやDBWの代替は焼成中のクッキーペーストの広がりを抑え、かつ焼成されたクッキーの硬さが減少してサクサク感を良好にした。以上の結果よりソバ殻を含むDBWの応用は、加工食品に新しい食味と機能性を付加することを明らかにした。

第5章では、蕎麦の低温石臼製粉法による品質改良作用についての研究である。ソバの製粉時の発熱を抑制する為に、ヨーロッパ式石臼製粉に液化炭酸ガスを使用する低温石臼製粉法により10°C(F10)、15°C(F15)、20°C(F20)、32°C(F32)の各温度で製粉した4種類のそば粉と、そば2等粉(2BF)及び石臼挽きそば粉(花臼)の成分分析を行った。低温で調製したそば粉は花臼と類似し、揮発性の香りを有するそば粉の製造に効果的であった。特にF10とF15は花臼より低灰分、低脂肪酸度で、粘弾性、白度にも有効であり低温石臼製粉法は、花臼の性質に近いそば粉を大量に調製するのに適した方法であることを明らかにした。

以上、ソバ穀粒の段階式製粉法により得られた各画分を分析することにより、これらの成分特性、特に機能性物質のルチン、GABA 或いはアレルギー物質の局在が明らかとなり、これらの知見は各種食品加工への有効利用が期待される。また、低温石臼製粉法の新規導入により、より有効な加工特性、栄養特性を有するそば粉の調製が可能となった。更に、ソバ穀粒を発芽処理することによりアレルギーの低減化が可能となり、ソバ納豆、ソバ味噌等の新規な食品の加工への利用を明らかにした。

以上の成果は、食品化学、食品製造学、食品物理学、食品加工学の分野に大きく貢献するものであり、本論文の審査、並びに学力確認の結果と併せて、博士（応用生命科学）の学位を授与することを適当と認める。