

学 位 論 文 題 名

2 軸スクリー装置による食品加工に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は図48, 表23, 写真22, 引用文献55を含む和文論文であり, 123頁, 5章からなり, 別に12編の参考論文を添えている。食品工業においてスクリー系の加工機は, 材料の搬送処理を中心に古くから用いられている。本研究で報告するエクストルーダー（押し機）, スクリープレス（スクリー圧搾機）などが現在用いられている。エクストルーダーでは2軸エクストルーダーが導入され, 新たな食品加工技術が開発されている。その1つである植物タンパクの品質転換による組織化タンパクは, 多様化する食生活の中で注目を集めてきている。しかしながら, その組織形成等の内部現象は明らかではない。本研究は特に高水分タンパク素材の組織化のメカニズムを明らかにするとともにそれらの特性を生かした新食材の開発を試みている。さらに2軸エクストルーダーの「粉碎・混合」および「圧縮」作用を利用した固液分離を試みたところ, 通常のスクリープレスには見られない現象が確認された。そこで固液分離用に2軸圧搾機を試作し, 油糧種子からの搾油特性等の究明を行っている。本論文は2軸スクリー装置による食品加工に関するもので, 品質のより良好な製品を製造のための加工特性の検討, 新たな製造技術の開発および評価・検討等の研究成果についてまとめられている。

第1章では本研究に関連するエクストルーダーおよびスクリープレスに関して食品加工における位置づけ, 装置の歴史そして原理・構造と既往の研究について記述するとともに, 現状での問題点と本研究の目的を述べている。

第2章では大豆およびブナザケ（婚姻色の出現したギンザケの俗称）を用いて, 良好な繊維性を有する肉様素材のタンパク加工品を開発することを目的として行った実験結果を述べている。

まず大豆の加工特性を把握するための実験として, 原料の水分や pH の影響を調べ, 大豆タンパクの組織化には最適な pH（中性付近）と処理温度があることを確認している。次に加工に関して最適温度および処理時間を検討しており, 本実験での大豆での最適条件は温度140℃, 内部圧力2～3 MPa, 供給量20kg/hrであることを確認している。

繰り返し処理実験等の結果から, 組織化の構造は材料の熱溶融による物性変化によることを論

じ、大豆タンパクに熱可塑性に似た性質を見いだしたことを述べている。この知見からタンパク質の射出成形法を検討し、より大型化した組織化物の製造実験を行っている。射出成形用金型を試作し、2軸エクストルーダーと接続することで2軸エクストルーダー内部で熔融した材料を金型に一定圧力で充填することで金型の形状を持つ大型の組織化物を得ることが確認された。これらの結果から組織化物の配向した繊維性の構造は、2軸エクストルーダー内部でのタンパクの熔融、そして冷却ダイ部での粘度上昇による内部速度分布の不均一から生じた材料の延伸により形成されると推論している。また繊維性構造には主成分となるタンパク以外に材料の粘度や流動性を調節するための他成分やアルコールなどが効果があることを明らかにしている。

またブナザケの身肉を2軸エクストルーダー処理において、ブナザケ身肉のみでは良好な繊維性を有した組織化物が得られないこと、小麦粉を添加することで柔軟で繊維性の良好な組織化物が得られること、さらに構造物の微細構造の検討から、タンパク質を主成分とする繊維性構造の間にデンプンが分布し、繊維の配向性や組織の柔軟性の向上に寄与しているを明らかにしている。ブナザケでの最適条件は温度160℃、内部圧力2 MPa、供給量10kg/hr、小麦粉10%添加であることを確認している。

第3章では、2軸エクストルーダーの応用技術として開発した2軸圧搾機について特徴的な構造を中心に述べられている。構造の最も重要な点は不完全に噛み合った2本のスクリーであり、内部では一方のスクリーチャンネル上の材料を他方のスクリーフライトがそれを押しとどめ、回転によって材料を前方へと滑らせていきながら、スクリー間隙で材料の粉碎・混合を行うものである。従って材料の水分や油分の含有率の大小によらず移送が可能となり、内部の圧力上昇にともなう固液分離ができる。また摩擦熱の発生が抑えられるために、バレルの摩耗による消耗を減じ、装置の耐久性が向上するとともに、液状分及び固形分に対する熱変性の危険性が少なく、品質の向上が図られると考察している。次に特徴的な構造として圧搾バレル部分が挙げられる。開発された縦スリット型の圧縮バレルは、支持体となるバレルプレート間に間隙設定のスペーサーを配置したものであり、バレルプレート間のバレル内壁面に接する全ての外周がスリット面となっている。またこの方法ではスペーサーの厚みを変えることで容易にスリット幅を変更できるため、圧搾材料の状態にあったスリット配置が可能であり、さらに全体の圧搾バレル長も容易に設定できる。単純な構造のプレート、スペーサーを重ね合わせるだけであり、製作・組み上げも簡便なものである。このような2軸圧搾機はこれまで開発されたことはなく、特許を出願している。

第4章においては、開発した2軸圧搾機を用いて油糧種子からの搾油特性の検討結果を述べて

いる。検討は諸条件での搾油効率の算出、原油および固形残渣の成分分析、さらには粉碎効果を確認するために粒度分布等を測定した。その結果、脱穀ヒマワリ種子において94%と高い搾油効率を確認するとともに、原油および固形残渣の品質が良好であり、内部での粉碎効果も十分であることを明らかにしている。従来の処理法では、殻と一緒に搾油処理することで圧搾残渣に豊富なタンパク質があるにも関わらず、飼料等にしか利用されていない。脱穀種子での高い搾油効率および良好な品質は、大豆と同様な食品素材として利用できる圧搾残渣を得る方法として期待できる。さらにクッキング等の前処理の省略、圧搾機自体の運転コストの低減を確認し、省エネルギー的な処理法と位置づけている。対象とした小型試験用1軸圧搾機に比べて原油1kgを得るための動力エネルギーの消費量は1/4以下となっている。ナタネ種子からの搾油実験においては、小粒種子用のスクリーを開発することで通常以上の高い搾油効率を達成した結果を述べている。またナタネ種子の搾油に不可欠な圧ぺん処理を行わないことで、省エネルギーが期待できる他、原油の品質も良好であったとしている。

イワシの魚油回収においては、圧搾前のボイル処理の省略を経ないで、高油分の液状物の分離を確認している（油分が液状分の34~38%、通常法では5%前後）。この結果は通常の魚油分離処理よりも低コスト法の開発の可能性を示唆している。これらの実験結果は今後の食品産業での高水分材料、副成物からの低コスト、高分離効率の脱水処理への適用を期待させている。第5章では第2章から第4章を総括してまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 和 彦

副 査 教 授 堀 口 郁 夫

副 査 教 授 仁 木 良 哉

本論文は5章から構成された和文論文で、図70、表23、引用文献55を含む123頁からなる。別に12編の参考論文が添えられている。

食品工業におけるスクリー系の加工機械としてエクストルーダー（押し出し機）、スクリープレス（圧搾機）が利用されている。最近、2軸エクストルーダーを用いた植物タンパクの組織化の技術が開発されつつあり、組織化タンパクは多様化する食生活の中で注目を浴び、商品開発

も行われている。しかし、組織形成のメカニズムは明らかにされておらず試行錯誤で開発が行われているのが現状である。さらに2軸エクストルーダーの粉碎・混合および圧縮作用を利用した2軸圧搾機が開発中である。これは圧搾効率がよく、各種の油糧種子等からの搾油機械として優れた性能を持つとされているが搾油特性の基礎的研究はほとんど行われていない。

本論文は2軸エクストルーダーによる高水分タンパク素材の組織化のメカニズムを明らかにするとともに素材の特性を生かした新食材の開発を試み、さらに新規開発した2軸圧搾機による油糧種子等からの搾油時の特性について検討した結果を取りまとめたものである。

第1章ではエクストルーダーとスクリュースプレスの食品加工における位置づけ、装置の原理・構造および既往の研究について述べるとともに現状での問題点を指摘している。

第2章では2軸エクストルーダーを用いて大豆およびブナザケ（婚姻色が出現した利用価値の低いギンザケの俗称）による肉様素材のタンパク組織化物を開発することを目的とした研究の結果が述べられている。基礎実験の結果からタンパク組織化物の成因はタンパクの物性変化と材料の温度低下による粘度上昇が部分的に生じることとを明らかにし、良好な繊維性の形成には最適な材料の水分、pH、処理時の温度、圧力が存在することを見いだしている。また適量のデンプン、アルコールの添加が組織化には効果的であるとしている。大豆タンパクを繰り返し処理を行い、熱可塑性が存在することを明らかにしている。これらの知見を基に、脱脂大豆およびブナザケから繊維性構造を持つタンパク組織化物を製造する場合の各種条件を示している。脱脂大豆については材料 pH 7 前後、温度140℃、圧力2～3 MPa が、ブナザケについては温度160℃、圧力2 MPa がそれぞれ最適条件であることを示している。なお、ブナザケについてはそのみによる組織化は不可能であり、デンプンを10%程度添加することが必要であるとしている。

大豆タンパクの熱可塑性を利用して2軸エクストルーダーの出口に冷却ダイを設置し、これに溶解した材料を一定圧力で充填し成形する射出形成法を開発し、大型の組織化物を得ることに成功したとしている。

第3章では2軸エクストルーダーの応用として2軸圧搾機の開発過程を述べている。圧搾機に適したスクリュース形状と間隔、およびバレル（スクリュースの外筒）の形状を検討し、摩擦熱の発生を抑制して固体分離を行う圧搾機の開発に成功したとしている。

第4章では開発した2軸圧搾機を用いた油糧種子と魚からの搾油特性について述べている。脱穀ヒマワリ種子の搾油効率は94%を示し、従来用いられている1軸圧搾機の搾油効率の約4倍に相当することを明らかにしている。油の単位重量当りに要するエネルギー量は1軸圧搾機の1/4に過ぎないとし、油は清澄で酸価、過酸化値が低く高品質であり圧搾残渣（搾り粕）は殻の

混入がなく、窒素溶解指数（NSI）が大きくタンパクの熱変性が少なく、食品素材として充分利用可能な品質を保持していると述べている。

ナタネ種子用に改良した2軸圧搾機を用いて搾油を行った結果、搾油の前処理工程として不可欠な材料の圧ぺん、熱処理を必要とせず、高い搾油効率と消費エネルギーの減少が得られ、リン分の少ない原油が得られたとしている。リン分の低い油はその後の脱ガム、脱酸工程での原油の損失を低減でき精製工程のコスト低減を可能にすると述べている。

イワシの魚油回収に2軸圧搾機を用いた場合、従来の脱水を目的としたボイル工程を省略しても高油分液の分離が可能になったとしている。油分液中の油濃度は約30%を示し、従来法に比較して約7倍に増加した。

以上のように本論文は2軸エクストルーダーとこれを応用開発した2軸圧搾機を用いてタンパク組織化物の製造と油糧種子等の搾油に関する基礎および応用に関する研究であり、学術的に高く評価できるとともに食品工業分野の発展に資する所が多大である。

よって審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者五十部 誠一郎は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。