

ソバ粉のエクストルーダ処理に関する研究

守田和夫・田原迫昭爾・田中俊一郎

(農業システム工学講座)

平成4年8月5日 受理

Feasibility-Study on the Extrusion Cooking for Buckwheat Flour

Kazuo MORITA, Shōji TAHARAZAKO and Shun'ichiro TANAKA

(Laboratory of Agricultural Systems Engineering)

緒 言

わが国の食生活においては、高齢化という社会現象を反映して、健康志向型食品への要求が次第に高まってきている。また、一方では、飽食時代を迎えて新製品あるいは新素材への要望も非常に強くなってきている。関連業界では新しい植物タンパク質食品、ダイエタリ・ファイバ食品あるいは未利用資源を活用した組立食品などの開発をこれまで行ってきた。しかし、これらの場合、原料の性状や量からの制約あるいは技術的情報の欠落などにより、充分にその目的が達せられないまま推移しているケースが少なくない。こうした問題に対処するため、種々の分野で新技術の開発研究が行われているが、エクストルージョン・クッキングもその利用に大きな期待がもたれている技術の一つである^{2,4,5)}。

二軸エクストルーダは加熱されたシリンダ内を原料が入口からダイといわれる出口まで、スクリュで搬送される間に、圧縮、粉碎、混練、せん断、溶融、化学反応、殺菌、膨化などの食品加工における大半の単位操作を単一の装置で連続的に行われるように設計されているのが特徴である。しかし、エクストルーダは複雑な機能を単純な機構で働かせるようになっているだけに、その制御は非常に困難である。完全な状態で運転するにはかなりの量の基礎データが必要とされる。現在までにエクストルージョン・クッキングに関して多くの研究がなされ、ここ数年間に加工技術や新食品が多数開発されている^{6,7,9)}。

デンプン類の食品加工について考えると、まず、デンプンは三大栄養素の一つであり、糖源として必須の栄養成分である。植物内の貯蔵デンプンは、米に限らずその多くがデンプン粒という顆粒の中に結晶状態をとって蓄積されている³⁾。このデンプンは

多量の水分存在下で加熱処理を行うことで、デンプン粒およびその中の結晶が崩壊し、摂取可能となる。未処理のデンプンを直接摂取した場合は、この構造のため消化、吸収が著しく悪いことが知られている。エクストルーダを用いれば、低水分(20%以下)でデンプン粒およびデンプン結晶の破壊を行うことが可能である。食品の種類によっては、この破壊(糊化)の程度を制御する必要のある場合があり、二軸エクストルーダを用いると、運転時の加工温度、水分量、圧力、回転数、スクリュなどのパラメータの組合せによって、これらの調節は可能になる。

本研究では、ソバ粉を用いて二軸エクストルーダ処理を試み、せん断作用など加工条件に最も影響を及ぼすスクリュパターンを中心に製品の品質との関係を明らかにしたものである。

実 験 方 法

1. 供試材料

鹿児島県肝属郡串良町の県農業試験場大隅支場内の実験圃場で収穫されたソバ(品種:宮崎大粒)を粉碎してソバ粉にした後、実験に供した。供試したソバ粉の含水率は13.5% w.b.であった。

2. 実験装置

二軸エクストルーダは鹿児島県農産物加工研究指導センター内のTEX-30F(日本製鋼所製)を改造し、使用した。装置の概要は既報⁶⁾に準じ、実験は直径10mmのホットカットダイによる膨化物の連続加工処理を行った。

3. 二軸エクストルーダ処理条件

3.1 スクリュパターン

スクリュパターンは製品品質に最も影響を及ぼす因子の一つであるが、その組合せは無限に存在する。このため、今回の実験ではこれまでの実験結果¹⁾に

基づき、Fig. 1 に示す三つの基本的な組合せにより実験を行った。

- (1) 基本型となるボールねじと台形ねじを組合せたもの（スクリュパターンⅠ）。
- (2) ボールねじと台形ねじの組合せの他に、スクリュ軸の中間にニーディングディスクを挿入したもの（スクリュパターンⅡ）。
- (3) ボールねじと台形ねじの組合せの他に、スクリュ軸の中間にニーディングディスクを挿入し、さらに、スクリュ軸の先端にパイナップル形の逆ねじを加えたもの（スクリュパターンⅢ）。

このボールねじはせん断作用の効果が強く、台形ねじは粉碎作用に効果的なエレメントである。また、ニーディングディスクは混練作用、逆ねじは圧縮作用に効果的である。

3.2 その他の処理条件

スクリュ回転数は150～350rpm までを5段階に変化させ、バレル温度については原料供給口のバレルは常温、以後バレル毎に100, 120, 140℃の順に

設定した。原料供給は9.2, 13.8, 15.5, 20.4kg/h の4段階で行い、加水は0.65 ℓ/h と加水しない状態で行った。

4. 製品の品質評価

試作した製品の品質と処理条件の関係を明らかにするため、理化学的性質の測定と顕微鏡観察を行った。ダイから押出された製品をプラスチック容器に採取して、重量測定後室温で保存し、分析を行った。

製品の理化学的性質としては膨化率、比容積、硬さ、粉碎体積、膨潤度および沈澱物量について調べ、測定は既報⁹⁾に準じて行った。また、実態顕微鏡カラープロジェクタシステム（ケニス製 VD-15 MH）による膨化物の内相の観察を同時に行った。

結果と考察

エクストルーダ処理条件により膨化製品の品質は大きく異なってくる。なかでもスクリュパターンが製品に及ぼす影響は大きく、スクリュエレメントの機能や組み込む位置がバレル温度、スクリュ回転数

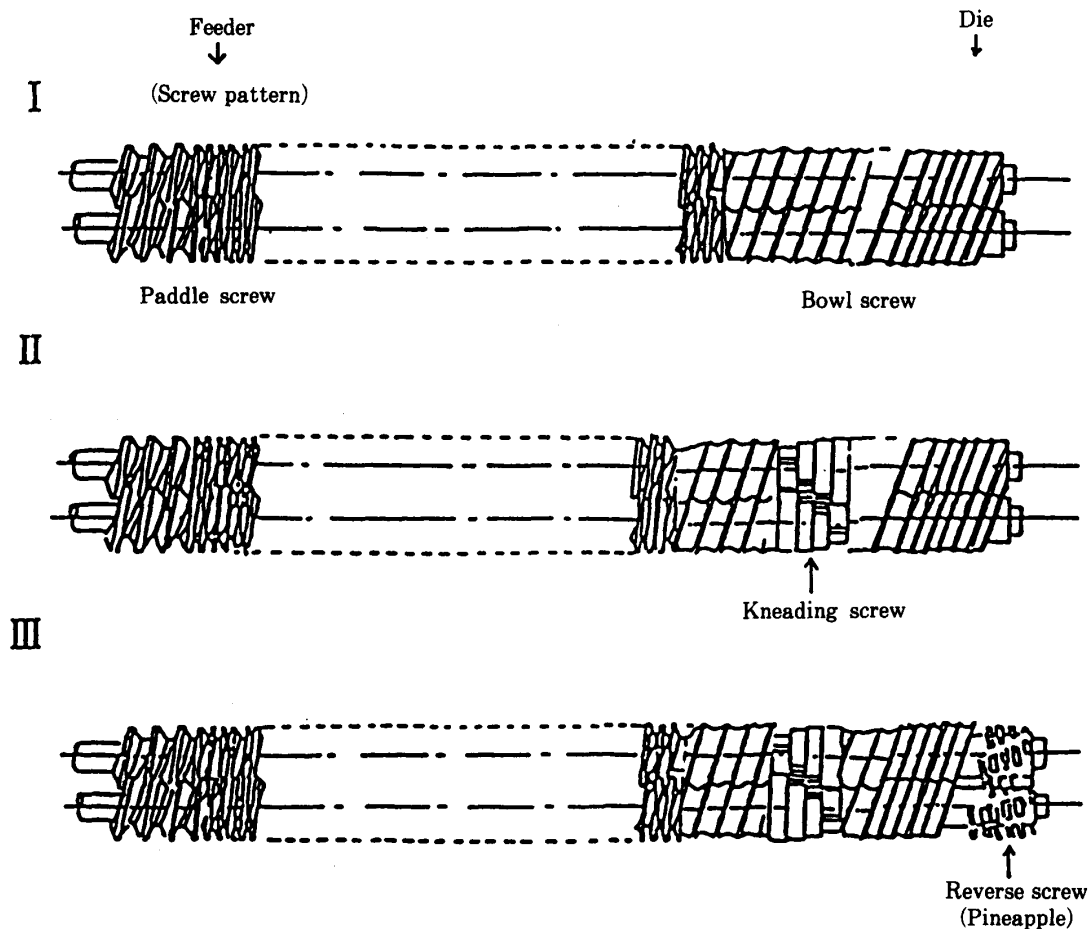


Fig. 1 Schematic diagram of screw pattern.

などに関連し、製品品質に微妙に影響を与える。今回は三種類のスクリュパターンを使って実験を行ったが、混練性、圧縮性およびせん断性などの効果の大きいパターンⅢと基本的パターンⅠについて比較した。

Fig. 2は膨化率とスクリュ回転数の関係を示したものである。パターンⅠはスクリュ回転数の増加に対してほぼ一定であるが、パターンⅢの膨化率は減少の傾向を示している。また、原料供給量は一定であり、製品の押し出し量は定状状態ではほとんど不変である。パターンⅢでは先端の圧力がスクリュ回転数とともに減少しているため、製品の直径は小さく

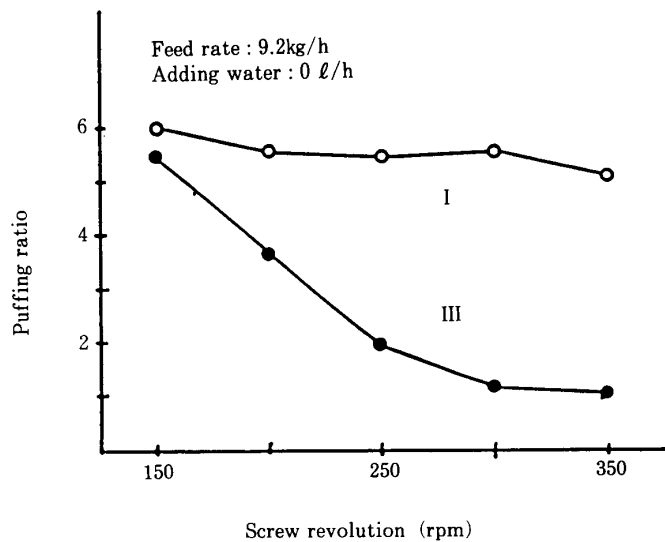


Fig. 2 Relationship between puffing ratio and screw revolution.

なっていく。Photo 1はスクリュ回転数の違いによる製品の内相を顕微鏡で観察したものであり、スクリュ回転数が増加するにしたがい、内相が密になっているのがわかる。さらに、膨化率は断面積比であることから、吐出の線速度が増していることになる。パターンⅠでは先端の圧力がスクリュ回転数に関係なくほぼ一定であるので、膨化率も高く、安定している。しかし、見かけは膨化しているように見えるが、Photo 2で示すように顕微鏡で観察すると内相では膨化が不十分であることがわかる。

そこで膨化の均一性を比較するため、膨化製品の粉碎体積とスクリュ回転数の関係について調べ、Fig. 3に示した。すなわち、パターンⅢではパターンⅠに比較して粉碎体積が全体的に多く、膨化が均一に行われていることがわかる。スクリュ回転数に対してはパターンⅠはほぼ安定しているが、パターンⅢは大きく変化している。スクリュ回転数が250 rpmのとき粉碎体積は最大となるので、このとき最も膨化が均一に行われていることになる。しかし、Fig. 4の比容積とスクリュ回転数の関係では、スクリュ回転数が200rpmを境にパターンⅠとⅢで全く逆の傾向を示した。すなわち、膨化製品の体積膨張率はパターンⅠでは200rpm以上で増加し、パターンⅢでは200rpm以上で減少していることがわかる。また、Fig. 5の比容積と原料供給量の関係では、パターンⅠは原料供給量に対して比容積はほとんど変化していないが、パターンⅢでは大きく増加する傾向にある。これはパターンⅢでは逆ねじの効果により先端の圧力が増すため、体積膨張率が増し、原料



Screw revolution : 150rpm
Screw pattern : III



Screw revolution : 350rpm
Screw pattern : III

Photo 1 Micrograph of puffing product by extruder.



Screw revolution : 200rpm
Screw pattern : I



Screw revolution : 200rpm
Screw pattern : III

Photo 2 Micrograph of puffing product by extruder.

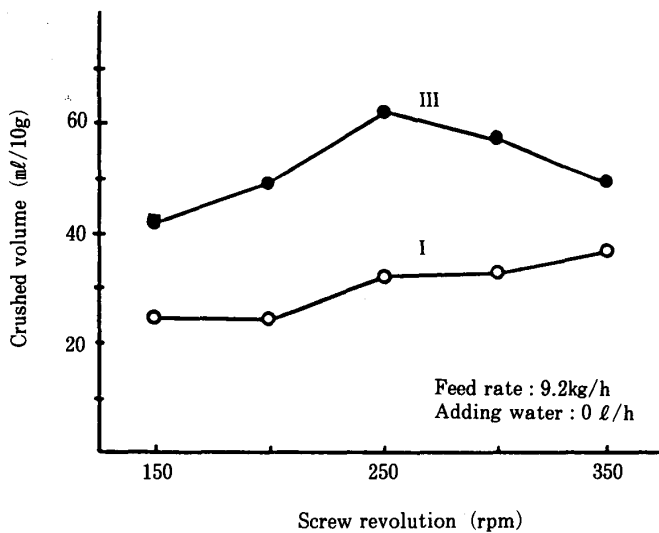


Fig. 3 Relationship between crashed volume and screw revolution.

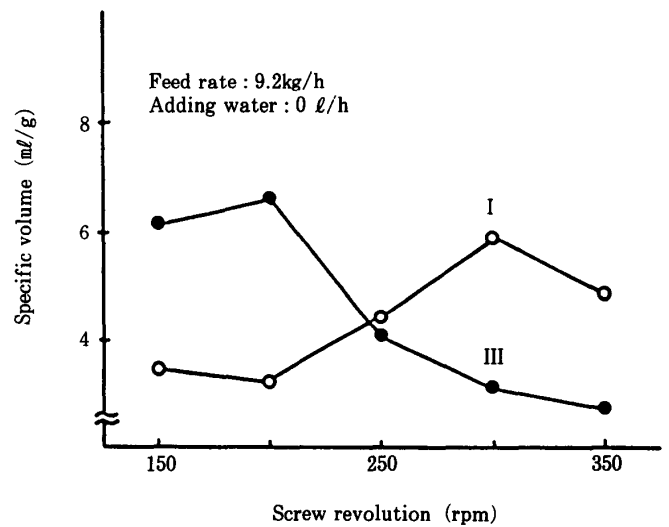


Fig. 4 Relationship between specific volume and screw revolution.

供給量とともに密な組織の製品となることがわかる。パターンⅢでは原料供給量の変化が製品に大きく影響しているものと考えられる。

次に、Fig. 6は沈澱物量とスクリュ回転数の関係を示したものである。これは製品に含まれる低分子量のデンプン分解物量を調べたものである。いずれのパターンもスクリュ回転数とともに減少の傾向を示したが、特にパターンⅢはスクリュ回転数の増加とともに大きく変化している。この沈澱物量は製品中の冷水可溶性のデンプンの量を示すもので、スクリュ回転数の増加とともに冷水可溶性デンプンが増加していることになる。すなわち、スクリュのせん

断作用により高分子のデンプン粒が低分子に切断されていることがわかる。

Fig. 7は膨潤度とスクリュ回転数の関係を示したもので、デンプンの α 化に対応し、製品に含まれる保水力を比較したものである。エクストルーダ処理では温度、圧力の他にせん断力が加わるので、膨潤度はいずれのパターンともスクリュ回転数の増加につれて減少している。デンプン質はスクリュ回転数の増加、すなわちせん断作用の増加とともに製品の膨潤、 α 化が進み、デンプン粒が崩壊していることがわかる。さらに、膨潤度と原料供給量の関係を調べてみると、両パターンとも膨潤度は原料供給量と

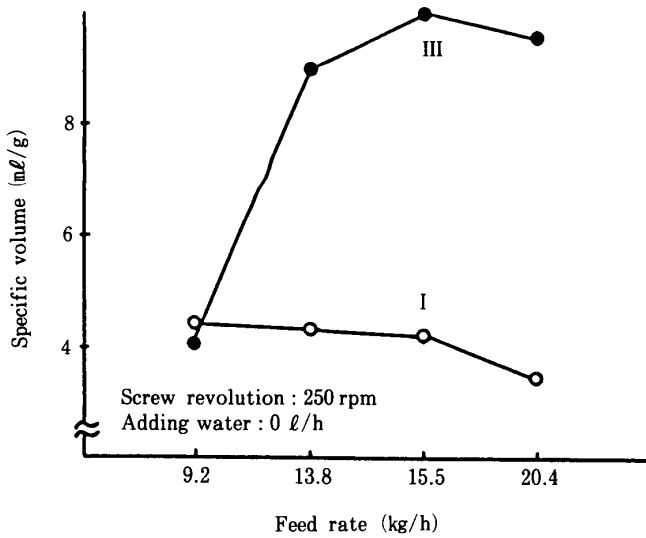


Fig. 5 Relationship between specific volume and feed rate.

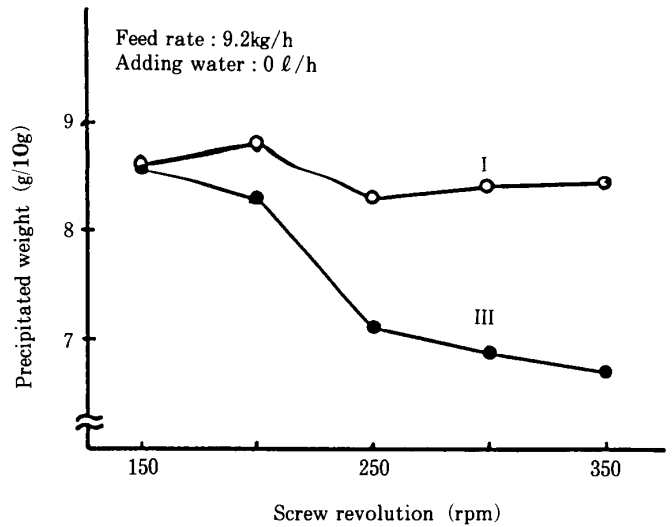


Fig. 7 Relationship between swelling power and screw revolution.

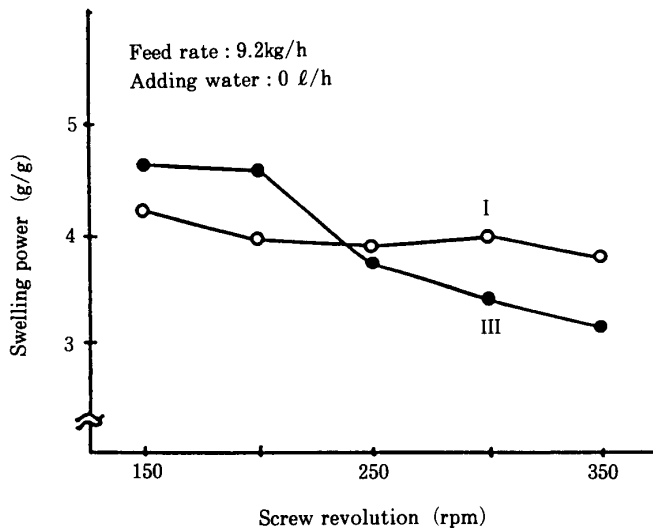


Fig. 6 Relationship between precipitated weight and screw revolution.

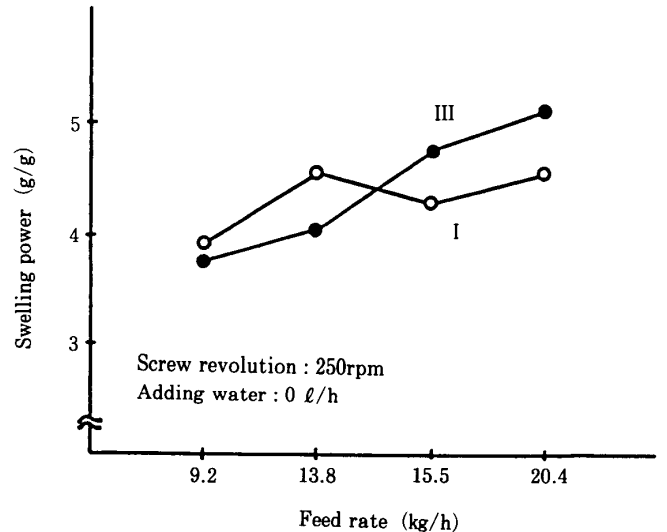


Fig. 8 Relationship between swelling power and feed rate.

ともに増加の傾向にあった (Fig.8). すなわち、原料供給量の増加にともない、バレルから原料への熱伝達が不十分となり、膨潤、 α 化が遅れてくると推定される。

Fig. 9は、製品の硬さとスクリュ回転数の関係について調べたものである。製品の硬さはパターンIではスクリュ回転数の増加に対して5 kgfを中心とした増減の傾向を示すが、パターンIIIではスクリュ回転数が250rpm以上で急激に増加していく傾向にある。これはスクリュ回転数が増加するにつれ、逆ねじの影響により先端の圧力が増し、Photo 1でも

わかるように密な組織を形成するため、製品は硬くなることを示している。また、加水量を増した場合もダイから吐出した直後の製品は大きく膨化し、非常に柔らかな組織であるが、常温に戻ると極めて硬くなっていく。これは製品の肉相で水分が気化することによって見かけ上は膨化しているように見えるが、Photo 3で示すように顕微鏡で膨化製品の肉相を観察すると、加水によって相が不均一になり、気泡も大きくなっているのがわかる。

以上の結果をまとめると、二軸エクストルーダを使用してソバ粉の膨化は容易に行えるが、スクリュ

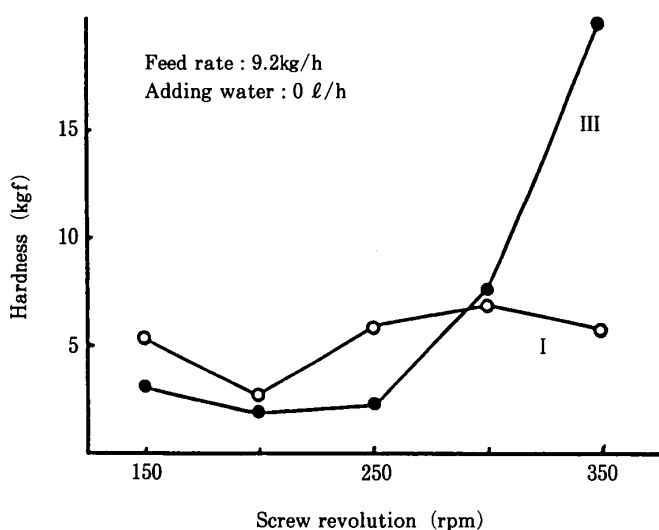
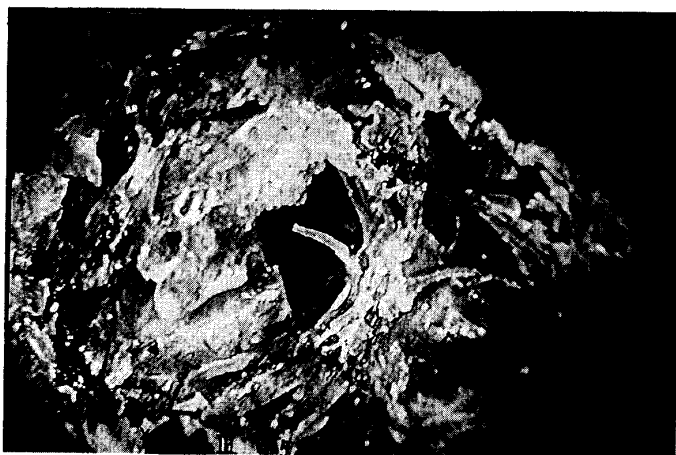


Fig. 9 Relationship between hardness and screw revolution.



Screw revolution : 250rpm
Screw pattern : III
Adding water : 0.65 l/h

Photo 3 Micrograph of puffing product by extruder.

パターンのみならず、スクリュ回転数、加水量、原料供給量などの処理条件も製品品質に大きく影響を及ぼしていることが判明した。品質については理化学的性質から見た場合、スクリュ回転数は200~250 rpm が適当であり、加水はできる限りしないことが望ましいと思われる。また、スクリュパターンは基本パターンにニーディングディスク、逆ねじなどのエレメントを加えたパターンⅢが製品品質からみて、効果的な組合せと思われる。今回はバレル温度が一定の条件下で実験を行ったが、今後はバレル温度を

パラメータとした解析やより効果的なスクリュエレメントの組合せパターンなどを検討する必要がある。さらに、エクストルーダ処理では高温かつ高圧下で大きなせん断力が原料に加わるので、短時間でのデンプンの α 化がおこる。スクリュのせん断力でデンプン粒が崩壊し、せん断作用により発生する内部摩擦熱が原料の α 化を超越した熱を供給するものと考えられる。製品がせん断力および内部摩擦熱を受けた程度を推定し、最適処理条件を求めることが必要であり、この量と品質評価の関係を今後さらに詳しく検討する必要がある。

要 約

ソバ粉のエクストルーダ処理を行い、スクリュパターンなど加工処理条件と製品品質の関係を調べ、以下の知見を得た。

1. エクストルーダ処理によりソバ粉の膨化が容易に可能となったが、膨化製品の品質はスクリュパターン、スクリュ回転数など加工処理条件で大きく異なった。

2. スクリュパターンは基本パターンにニーディングディスク、逆ねじなどのスクリュエレメントを加えたパターンⅢが製品の理化学的性質および顕微鏡による内相観察からみて、効果的な組合せであった。

3. 原料供給量や加水量など今回の実験範囲内では、製品の膨化の均一性、膨化率および硬さなどからみて、スクリュ回転数は200~250rpm が適当であると判断された。

4. エクストルーダ処理では高温かつ高圧下で大きなせん断力が原料に加わるので、デンプン粒がかなり低分子量まで崩壊し、せん断作用により発生する内部摩擦熱が短時間でデンプンの α 化を可能にしているものと推定される。

謝辞 本研究は食品科学振興財団奨学研究費の助成を得て行った。また、御校閲を頂いた本学農学部宮部芳照助教授、実験材料を提供して下さいた鹿児島県農業試験場大隅支場農機具研究室仲川政市室長、実験装置の便宜を図って下さった鹿児島県農産物加工研究指導センター馬場透室長並びに実験に際し、協力を得た申間克弘、吉田典之君に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 安部章蔵ら：食品素材の二軸エクストルーダ処理による新食品の開発に関する研究。通産省技術開発研究事業報告書，Ⅱ，1-22 (1987)
- 2) Chauhan G. S. and G. S. Bains : Effect of granularity on the characteristics of extruded ricesnack. *J. Food Technology*, 20, 305-309 (1985)
- 3) Greenwood C. T. : Polysaccharides in food. *Bufferworths, London*, (1979)
- 4) Harmann D. V. and J. M. Harper : Modeling a forming foods extruder. *J. Food Sci*, 39, 1099-1104 (1974)
- 5) Harper J. M. and Harmann D. V. : Research needs in extrusion cooking and forming. *Trans. A. S. A. E.*, 16, 941-945 (1973)
- 6) Harper J. M. : Extrusion Texturization of Foods. *Food Technology*, 40(3), 70-76 (1986)
- 7) Hayakawa I. : Food Processing by ultra high pressure, twin-screw extrusion. Technomic Publishing Co., INC. U. S. A. (1992)
- 8) 守田和夫・田原迫昭爾・田中俊一郎：二軸エクストルーダ処理によるソバの理工学的特性，鹿大農学術報告，No. 41, 97-104, (1991)
- 9) 食品産業エクストルージョンクッキング技術研究組合編：エクストルージョンクッキング，光琳，東京，(1987)

Summary

Using a twin-screw extruder, extrusion cooking of buckwheat flour were attempted to produce a product of puffed food in possession of high quality. Investigations were made to clarify the relationships between the quality of the extruded products and the extrusion cooking conditions, like differences among the screw patterns and so on. The results obtained are summarized as in the following:

1. Puffing of buckwheat flour has been rendered quite feasible by the practical use of the twin-screw extruder, however, the quality of the products is greatly influenced by the differences in the extrusion cooking conditions, such as, screw patterns, screw rotating speed and so on.

2. Concerning the screw pattern, the screw pattern III prepared by jointly combining the basic pattern with the kneading disk screw and reverse screw elements came to be regarded as one of the fittest extrusion cooking conditions owing to the results of the microscopic observations of the internal structure as well as the confirmation of the physical and chemical characteristics of the puffed products

3. Concerning the rotating speed of the screw, under the present conditions of feed rate, water addition, and barrel temperature, the rotating speed of 200~250 rpm was fixed to be the fittest one due to the results of the minute considerations paid to the uniforming, puffing rate and hardness of the products and so on.

4. At the extrusion cooking process, under the conditions of high temperature and intensive pressure, an extremely big shearing force comes inevitably upon the materials, which is powerful enough to render the buckwheat flour smashed, and enough to make it reduced into a micromolecular level. Therefore, it is assumed that the internal frictional heat which is to be brought forth due to the above described shearing action, makes it possible to gelatinize the starch within a quite short lapse of time.