

キャッサバの押出し加工

誌名	琉球大学農学部学術報告 = The science bulletin of the College of Agriculture, University of the Ryukyus
ISSN	03704246
著者	川崎, 聖司 秋永, 孝義
巻/号	47号
掲載ページ	p. 29-38
発行年月	2000年12月

キャッサバの押出し加工

川崎聖司*・秋永孝義*

Seishi KAWASAKI and Takayoshi AKINAGA
Extrusion cooking of cassava flour

キーワード：キャッサバ、イクストルージョンクッキング、膨化率、
フローテスター

Key Words : Cassava, Extrusion cooking, Expansion ratio,
Flow tester

Summary

Effect of processing conditions on gelatinization of Cassava flour and texture of the extruded products (extrudate) were studied.

Two types of cassava one of which was harvested in Iriomote Island and the other imported from the Philippines were humidified and extruded by the Kouka-shiki flow tester. Different parameters involved during processing such as temperature, pressure and moisture contents of the cassava flour were measured and fundamental processing variables were discussed.

Exponential relationship were observed between expansion ratio and apparent viscosity of extrudate and moisture contents. Their relationships could be expressed by the following equations at pressure of $1.02 \cdot 10^{-3} \sim 2.04 \cdot 10^{-3}$ Pa.

Iriomote:

$$2.10 \cdot 10^5 \cdot M^{-2.75} \cdot \eta_a^{-0.369}$$

Philippines:

$$\epsilon = 9.79 \cdot 10^5 \cdot M^{-3.15} \cdot \eta_a^{-0.369}$$

Where : ϵ = expansion ratio (-) ; M = moisture content (%) ;

η_a = apparent viscosity (Pa·s)

* 琉球大学農学部生物生産学科

琉球大学農学部学術報告 47 : 29~38 (2000)

緒 言

世界的に見て、食生活における高蛋白質化、特に肉食化傾向が進展・定着する中で、家畜の餌となるべき飼料原料は小麦、燕麦、トウモロコシ等の穀類を中心とした濃厚飼料に依存する割合が増大してきている。

沖縄を含めた熱帯・亜熱帯地域に分布する生物資源の中には未だ十分に利用されていない根茎植物が多く、これらを飼餌料とすることが可能となれば温帯地域に多く栽培されている飼料作物への依存度を軽減させることができ、途上国の産業振興にもつながると期待される。中でもキャッサバは熱帯地域諸国においてデンプン作物として広く栽培されており、その地下茎から得られるデンプンは同地域の主要食物の一つとなっている。

このようにキャッサバは食糧資源や飼料の他に化学工業原料としての用途が見込まれるが、飼料として利用する場合には成分中に含まれるシアン化合物の減少・除去や蛋白質成分の補強(乾燥キャッサバ中の蛋白質含量は1~2%)が必要とされる¹⁾。キャッサバの飼料化に関する研究では現在までに添加物の混入や液体培養による微生物蛋白質の強化²⁾などが報告されている。また、天日乾燥や乾燥や加熱処理によってシアン化合物の大半が除去されることも知られている³⁾。

本研究では、加熱押し出し法によりキャッサバの多孔性膨化物を形成させ、これを直接に固体発酵原料原料として高蛋白質飼料を製造することを最終目的とし、そのための基礎的な膨化特性を把握しようとするものである。この加熱膨化処理によってシアン化合物の除去、デンプンの α -化、比表面積の増加等が図られ、菌体資化性の向上とともに製造工程の簡素化、短縮化が期待される。そのため本実験では加工条件選定の際の基礎的知見を得るべく、高化式フローテスターを用いて試料の含水率、操作温度・圧力などの操作因子を変化させ、これらと膨化率及び見掛け粘度との相関を検討した。

実験方法

1. 試料の調製

2種類の試料、すなわち沖縄県西表島で栽培・収穫されたキャッサバ(以下西表産キャッサバ)及びフィリピン産の市販のキャッサバをいずれもチップ上にスライスし、乾燥させたものを原料として使用した。供試試料としては原料チップをハンマーミルで粉砕後、呼び径0.48mmのふるいを通した粉体を用いた。試料含水率の調整は、粉体に所定量の蒸留水をハンドスプレーで噴霧しながら原料を均一に混合し、さらに密封容器に移して冷蔵庫で一昼夜保存することにより行った。なお、含水率は調湿完了後、105℃で24時間乾燥して測定した。

2. 装置及び測定法

実用規模での加熱押し出し加工ではスクリー式のイクストルーダー^{4, 5)}を用いることが多いが、これは操作中に圧力が著しく変動し、かつ試料を多量に必要とするなど基本的条件の選定には必ずしも適当ではない。そのため、本実験では、通常では合成高分子の射出成型際の基礎解析試験に採用されている高化式フローテスター(実験では島津フローテスター CFT-500型、(株)島津製作所を使用)により測定を行った。

実験ではまず調湿された試料2.7gを付属のハンドプレス断面積1.0cm²、長さ約2cmの円筒形に予備成形しすみやかに加熱体に装填した後、ただちに所定の荷重、温度下で180秒予備加熱して以下の2種の方法のいずれかにより測定を開始した。なお予備加熱の間はノズル閉塞管を用いて試料の流出を防止した。また、ノズルは1mm×1mm ϕ を使用した。

測定方法は等速昇温試験及び定温試験法を採用し、前者では試料がノズルから流出を開始する温度よ

り約30℃定温側から昇温速度3℃/minで加熱した場合の所定圧力下におけるフローポイント（本実験では 10^{-5} cm³/sec以上の流量が得られる温度）を求めた。また、後者では一定温度、圧力下で試料を流出させ、(1)式により見掛け粘度を算出した。さらに膨化流出物を円筒形とみなし、その直径について任意の数箇所をノギスで計測することにより(2)式からその算術平均半径とノズル半径の比の2乗を試料の膨化率として、膨化・多孔質化の指標とした。

見掛け粘度

$$\eta_a = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot P}{8 \cdot L \cdot Q} \quad \dots \dots \dots (1)$$

膨化率

$$\epsilon = \left(\frac{R'}{R} \right)^2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

- η_a : 見掛け粘度 (Pa · s)
- R : ノズル半径 (m)
- R' : 流出試料の半径 (m)
- L : ノズル長さ (m)
- P : 圧力 (Pa)
- Q : 試料流量 (m³/sec)
- ϵ : 膨化率 (-)

実験結果および考察

1. フローポイント

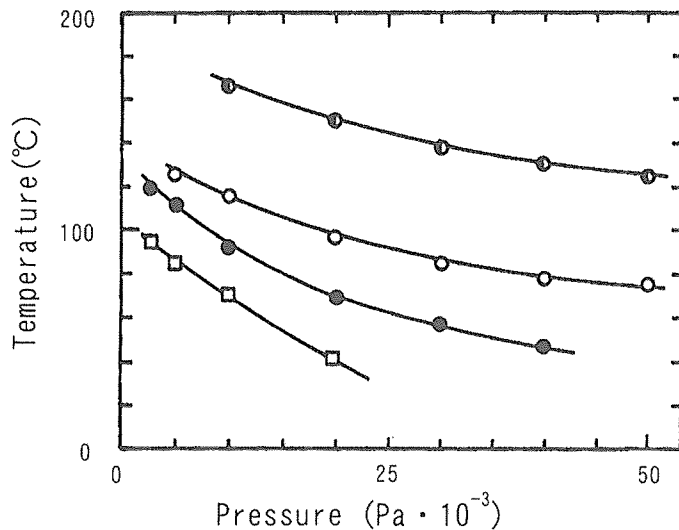


Fig.1 Flow-point of cassava (Iriomote) in various moisture contents (● 9.5, ○ 14.8, ● 21.6, □ 25.8%)

含水率を変化させて調製した2種類の試料を用い、等温昇温試験法により流出を開始する温度（フローポイント）を測定した。

一般に一定の速度で昇温させた場合、各試料とも熱及び圧縮加重の影響を受けて変形し内部空隙率がしだいに減少し始め、フローポイントの約5-10℃低温側で最も圧密化（内部空隙率が最小）され、熱可塑性樹脂の軟化温度に相当する点を経た後、さらに高温域では逆に一旦体積膨張を示して流出を開始する減少がみられた。

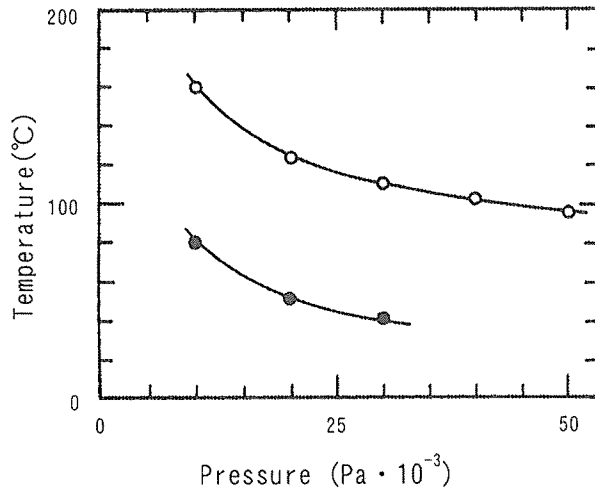


Fig.2 Flow-point of cassava (Philippines) in various moisture contents (○14.5, ●24.5%)

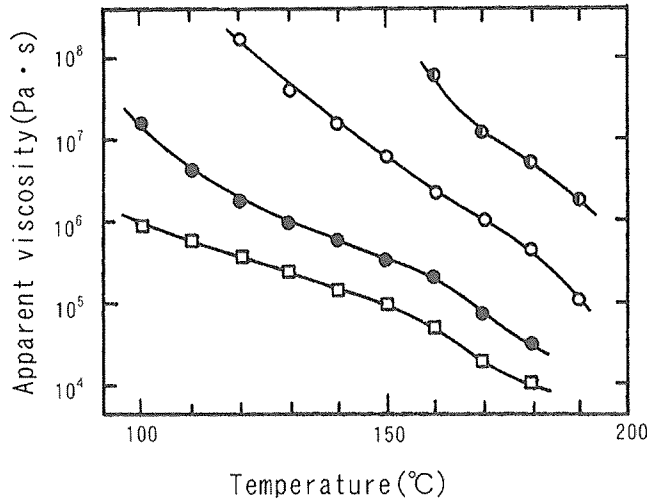


Fig.3 Relation between apparent viscosity and extrusion temperature of cassava (Iriomote) in various moisture contents (●9.5, ○14.8, ●21.6, □25.8%) at $1.53 \cdot 10^3$ Pa

フローポイントと各試料の含水率の関係を西表産及びフィリピン産キャッサバについて各々Fig. 1、2に示したが、いずれの場合でも含水率が増加するほど各圧力下における流出温度は低下した。また、各試料ともある一定荷重以下では200℃近くまで昇温してもノズルから流出せず、流動のための臨界圧が存在することが知られた。例えばFig. 1において含水率が9%の場合、 $1.02 \cdot 10^{-3}$ Pa以下では流出しない。

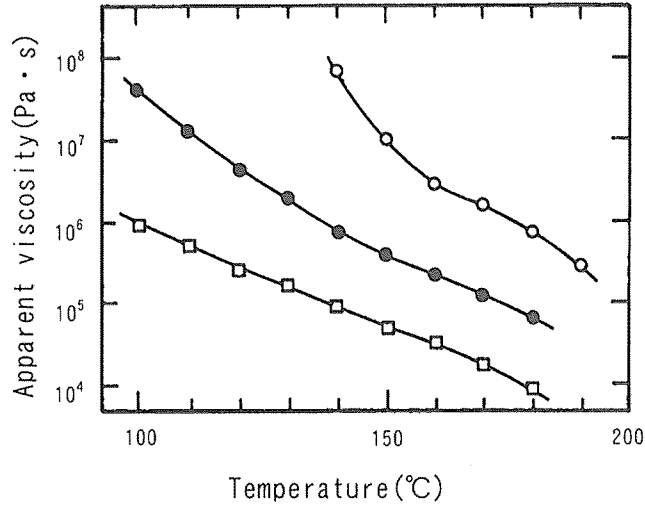


Fig. 4 Relation between apparent viscosity and extrusion temperature of cassava (Philippines) in various moisture contents (○ 14.5, ● 20.1, □ 25.4%) at $1.53 \cdot 10^{-3}$ Pa

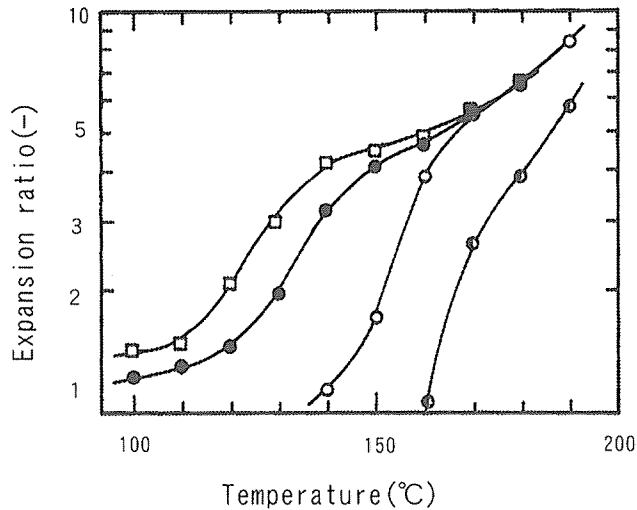


Fig. 5 Relation between expansion ratio and extrusion temperature of cassava (Iriomote) in various moisture contents (● 9.5, ○ 14.8, □ 25.8%) at $1.53 \cdot 10^{-3}$ Pa

含水率の高い試料ではFig. 1、2に見られるように高圧力側では100℃以下でも流出するが、膨化を伴わず得られた流出物の色も予備成形時と同様であった。なお、フィリピン産キャッサバの方が西表産のものよりも同一含水率においてフローポイントが10~20℃ほど高かった。

2. 見掛け粘度と温度の関係

次に定温試験法により見掛け粘度と温度との関係について検討した。荷重圧力を $1.02 \cdot 10^{-3}$, $1.53 \cdot$

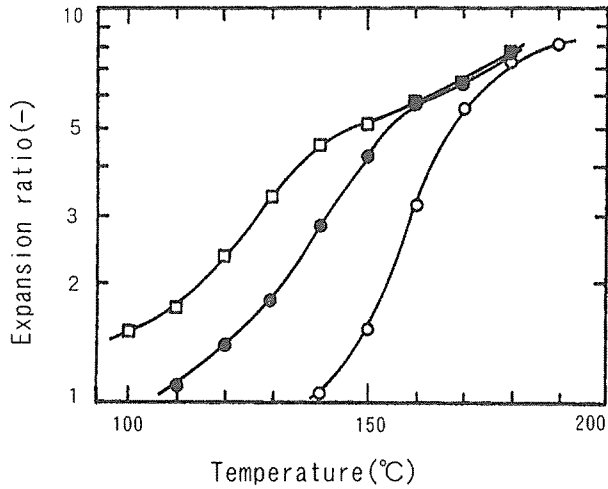


Fig.6 Relation between expansion ratio and extrusion temperature of cassava (Philippines) in various moisture contents (○14.5, ●20.1, □25.4%) at $1.53 \cdot 10^3$ Pa

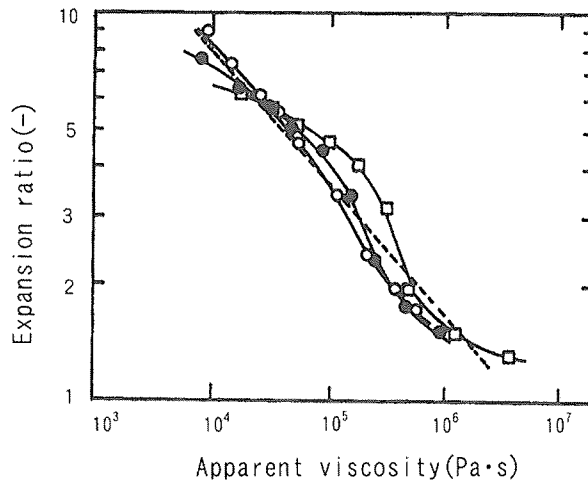


Fig.7 Relation between expansion ratio and apparent viscosity of cassava (Philippines, moisture content 25.4%) at various extrusion pressure (□ $1.02 \cdot 10^3$, ○ $1.53 \cdot 10^3$, ● $2.04 \cdot 10^3$, Pa)

10^{-3} , $2.04 \cdot 10^{-3}$ Paとしたときの各設定温度における試料の流出速度から見掛け粘度を算出した。このうち $1.53 \cdot 10^{-3}$ Paの場合を例にとり、Fig. 3、4に示すが、このように西表産及びフィリピン産とも温度上昇に伴い見掛け粘度は低下した。また、含水率が高くなるほど同一温度での粘度が低く、温度上昇につれてその低下率も大きくなった。これらの減少は圧力 $1.02 \cdot 10^{-3}$, $2.04 \cdot 10^{-3}$ Paでも同様であった。以上の結果について各含水率をパラメーターとした見掛け粘度と含水率の関係を両対数プロットすると直線近似が可能であった。

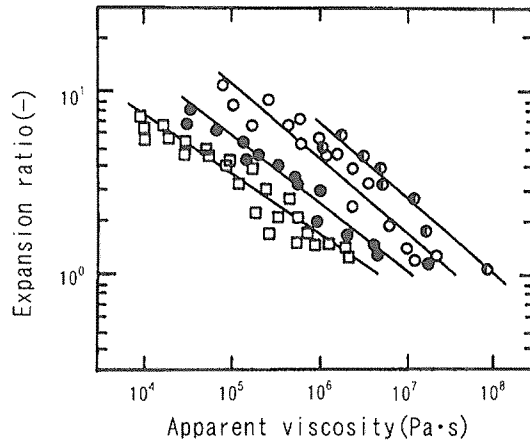


Fig. 8 Relation between expansion ratio and apparent viscosity of cassava (Iriomote) in various moisture contents (● 9.5, ○ 14.8, ● 21.6, □ 25.8%) at $1.02 \cdot 10^{-3} \sim 2.04 \cdot 10^{-3}$ Pa

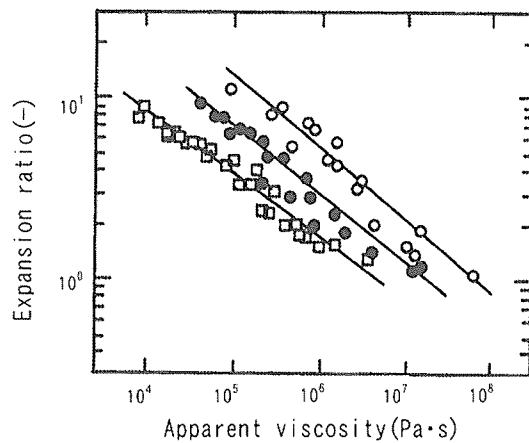


Fig. 9 Relation between expansion ratio and apparent viscosity of cassava (Philippines) in various moisture contents (○ 14.5, ● 20.1, □ 25.4%) at $1.02 \cdot 10^{-3} \sim 2.04 \cdot 10^{-3}$ Pa

3. 膨化率と温度の関係

Fig. 5、6 に圧力 $1.53 \cdot 10^{-3}$ Pa における膨化率の温度依存性を各々西表産、フィリピン産について示した。図のように含水率が低い場合（西表産含水率9.5%）を除くと、高温域（170～190℃）では含水率の増加に関わらず膨化率はほぼ同じであった。

ノズル先端からの試料の吐出状態は、高温・高含水率の場合ノズル先端で一旦膨化し、1～2 cmほど流出したところで逆に少し収縮する現象が観察された。このことは、高温・高圧状態から常温・常圧下に解放された試料中の水分が蒸発・気化する際、水蒸気が十分に拡散されないままに一部が冷却され、その結果、吐出した試料の最終的な膨化率が低下するものと考えられる。従って、これら高温域でキャッサバを加工する場合には含水率の増加が必ずしも膨化率の向上には関与しない。なお、180℃以上では膨化物の一部が焦げ付く現象が見られ実用上処理温度の上限であろうと推定された。

4. 膨化率、見掛け粘度と圧力の関係

膨化率と粘度及び圧力の関係を見いだすため、荷重を $1.02 \cdot 10^{-3}$, $1.53 \cdot 10^{-3}$, $2.04 \cdot 10^{-3}$ Pa に設定した場合におけるこれらの相関を検討した。一例として Fig. 7 に含水率25.4%のフィリピン産キャッサバの実験結果を示した。図のように、見掛け粘度が $2 \sim 5 \cdot 10^5$ Pa·s で圧力 $2.04 \cdot 10^{-3}$ Pa の膨化率が他より2～5割ほど増加することを除けば、見掛け粘度と膨化率は圧力に関わらずほぼ一定の関係を有することが知られた。このことはフィリピン産の他の含水率試料や西表産のものについても同様であった。さらに、Fig. 7 に破線で示すように見掛け粘度と膨化率の関係を一次式で近似すると、両者は簡単な指数式で表現できた。これらについては次項で併せて述べる。

5. 膨化率、見掛け粘度と含水率の関係

前述のように同一含水率の試料では膨化率は見掛け粘度によってほぼ決定されると見なせるので、これに含水率を変動因子として加えた実験式の検討を行った。Fig. 8、9 は西表産及びフィリピン産の各含水率における圧力 $1.02 \cdot 10^{-3}$, $1.53 \cdot 10^{-3}$, $2.04 \cdot 10^{-3}$ Pa での実験結果とそれぞれの回帰式を示したものである。両試料とも含水率の相異に関わらず直線の勾配はほぼ等しく、これらこれから全実験試料における平均勾配0.36を得た。さらに、各直線の横軸方向（見掛け粘度）の移動量が含水率の違いによるものとして、各指数式の定数と含水率の関係をプロットすると、Fig.10のようにこれも直線近似が可能であった。このことにより各キャッサバの含水率ごとの定数を含水率のパラメーターとして記述することができた。従って、以上の結果を総合すると、含水率を含めた膨化率と見掛け粘度の関係を示す実験式は圧力 $1.02 \cdot 10^{-3} \sim 2.04 \cdot 10^{-3}$ Pa において

西表産：

$$\epsilon = 2.10 \cdot 10^5 \cdot M^{-2.75} \cdot \eta_a^{-0.369} \dots \dots \dots (3)$$

フィリピン産：

$$\epsilon = 9.79 \cdot 10^5 \cdot M^{-3.15} \cdot \eta_a^{-0.369} \dots \dots \dots (4)$$

M：含水率（%）

と比較的簡単な指数式で表現することが可能となり、押し出し加工の操作条件選定に重要な示唆を得ることができた。これは小麦粉の場合⁹⁾と同様であるが、小麦粉では蛋白質含量の相異により勾配が若干異なるので(3)、(4)式よりもやや複雑であり、キャッサバの方がイクストルーダーへの応用が容易であろう。

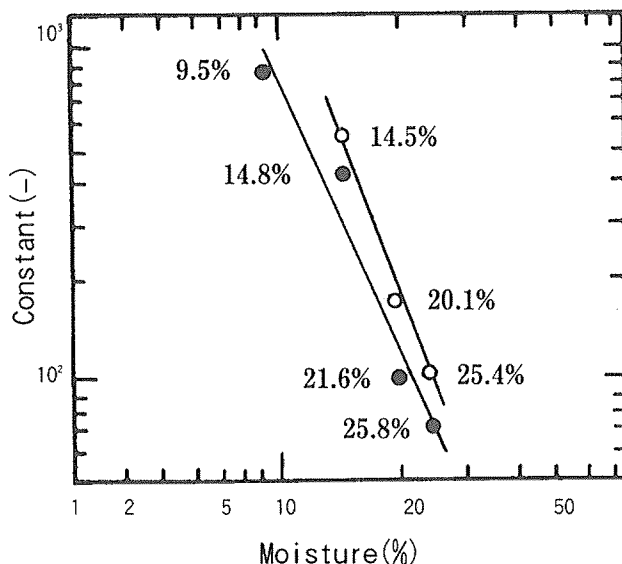


Fig.10 Relation between moisture contents and constants of expansion equations for cassava (●Iriomote in Fig.8, ○Philippines in Fig.9).

要 約

キャッサバを加熱押し出し処理によって膨化させ、多孔質膨化物を製造する際に影響を及ぼす基礎的な操作因子について検討を行った。

西表産及びフィリピン産キャッサバ原料を粉碎・分級して得られた試料を調湿し、高化式フローテスターを用いて流出開始温度、膨化率、見掛け粘度を測定した。

その結果、圧力 $1.02 \cdot 10^{-3} \sim 2.04 \cdot 10^{-3}$ Paの範囲で、各含水率における粘度と圧力の関係は両対数グラフ上で直線近似された。また、膨化率は粘度、含水率により影響を受けることが知られ、これらの関係は比較的簡単な指数式により表現することが可能であった。これらはキャッサバの加工条件の選定に重要な示唆を与えるものである。

$$\epsilon = a \cdot M^b \cdot \eta_a^{-0.369}$$

:

ϵ : 膨化率 (-)

M : 含水率 (%)

η_a : 見掛け粘度 (Pa)

a, b : 定数 (各々西表産 $2.10 \cdot 10^5$ 、 -2.75 、フィリピン産 $9.79 \cdot 10^5$ 、 -3.15)

参考文献

1. 星合和夫 1982 バイオマス資源としてのキャッサバ開発への期待, 食品工業 25(7上): 73~86
2. Reade, A. E. and Gregory, K. F. 1975 High-temperature production of protein-enriched feed from cassava by fungi, Appl. Microbiol., 30(6) : 897~904
3. Mikami, Y., Gregory, K. F., Levadoux, W.L., Balagopalan, C. and Whitwill, S.T. 1982 Factors affecting yield and safety of protein from cassava by *Cephalosporium eichhoriae* Appl. Environ. Microbiol., 43(2) : 403~411
4. 松野隆一, 矢野俊正 1996 食品物理化学, p.264~278, 文永堂出版
5. 矢野俊正, 桐栄良三 1990 食品工学基礎講座 4 混合と成形 p.77~143, 光琳
6. 國府田佳弘, 小宮俊幸 1976 小麦粉の加熱押し出し加工に関する基礎的研究, 日食工誌, 23(1) : 39~42