低濃度におけるカタクリ澱粉糊のレオロジー的性質†

相川りゑ子*, 阿久澤さゆり**, 澤山 茂**, 川端晶子**, 中村道徳***

Some Rheological Properties of Katakuri (*Erythronium japonicum* Decne) Starch Pastes at Low ConcentrationsRieko AIKAWA,* Sayuri AKUZAWA,** Shigeru SAWAYAMA,**
Akiko KAWABATA** and Michinori NAKAMURA**** Department of Domestic Science, Otsuma Women's Junior College
(12, Sanban-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102, Japan)

** Department of Nutrition, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

*** Nodai Research Institute, Tokyo University of Agriculture

(**,*** 1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156, Japan)

The spinnability, flow characteristics, and static viscoelasticity of Katakuri starch at low paste concentrations were compared with those of pastes of potato and edible canna starches. The spinnability of 2, 3 and 4% pastes of the three different starches was measured at 20, 30 and 50°C. The spinning distance of each starch paste depended on the concentration, temperature and tensile velocity. All three starch pastes showed hysteresis curves with a yield value and the down curve of the potato starch paste was steeper than the up curve. Katakuri starch paste showed large structural viscosity. The 2 and 4% potato starch pastes showed the highest values for elastic modulus and viscotoc modulus. The paste of Katakuri starch showed the shortest retardation time and the lowest Newtonian viscosity. A master creep curve could be constructed for each starch paste from the creep compliance curves in the range 10–40°C. The apparent activation energy was in the order of Katakuri>edible canna>potato.

澱粉粒は水とともに加熱すると吸水膨潤し糊化するが、澱粉が一定濃度以上になると、糊は冷却放置することによりゲルを形成しやすくなる。起源を異にする澱粉の種類によって糊およびゲルは多様なレオロジー的性質を示すことが知られている。澱粉懸濁液の加熱および冷却による粘度変化については、古くよりビスコグラフを用いた多くの研究がある。

カタクリ澱粉はわが国の食文化の歴史の中では、葛澱粉に次いで古くより調理素材として利用されていた¹⁾が、自然採取から調製できる生産量は少なく、その性質につ

いてはほとんど知られていないのが現状である。現在、片栗粉の商品名で市販されているのは100%馬鈴薯澱粉である。最近、杉本ら²⁾はカタクリ澱粉の2, 3の性質を検討し、著者らも前報³⁾において、カタクリ澱粉のビスコグラフィーのほか、フォトペーストグラフィー、示差走査熱量および糊化過程の動的粘弾性の測定を行い、測定原理の違いによる澱粉懸濁液の糊化特性を検討した。十分に糊化した澱粉糊は、調理や加工に広く利用されているが、さらにガム類との相互作用についても検討されている⁴⁻⁸⁾。また、澱粉糊の流動特性については、小麦澱粉⁹⁻¹²⁾、えん麦澱粉¹³⁾、馬鈴薯澱粉¹⁴⁻¹⁸⁾などの研究がある。低濃度の澱粉糊のレオロジー的性質の一つとして曳糸性が考えられるが、平尾ら¹⁵⁾や Takahashi ら¹⁶⁾、村山ら²⁰⁾の報告はあるものの、曳糸距離のみの測定で、曳糸挙動について十分に論じられてはいない。そこで、本研究では、低濃度のカタクリ澱粉糊の曳糸性を検討するとともに、流動特性および静的粘弾性についても検討

† カタクリ澱粉の理化学的性質に関する研究 (第3報)

* 大妻女子大学短期大学部家政科 (102 東京都千代田区三番町 12)

** 東京農業大学農学部栄養学科 (156 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

*** 東京農業大学総合研究所 (156 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

したのでその結果を報告する。

実験方法

1. 試料

前報¹⁾と同様、試料としてのカタクリ澱粉は、1988年5月秋田県鳥海山麓で採取したカタクリ (*Erythronium japonicum* Decne) 鱗茎を用い、東京農業大学調理科学研究室において、常法²¹⁾により調製した。対照としての食用カンナ (*Canna edulis* Ker.) 澱粉は、台湾南投県竹山の中和製粉工産製、馬鈴薯 (*Solanum tuberosum* L.) 澱粉は北海道ホクレン中斜里工場製のものをを用いた。

また、調製後の各種澱粉は当研究室で常法に従い、澱粉を脱イオン水に懸濁し、遠心分離を行い上澄みを除去、再び脱イオン水を加え、この操作を3回繰り返した。その後、濾過し、エタノールで脱水後、25℃で風乾した。

2. 澱粉糊の調製法

各種試料澱粉 2, 3, 4% (w/w, 無水物換算) 濃度の糊を調製した。2~4%の澱粉糊は日本人が好んで食べる“くず湯”に相当する濃度である。各試料澱粉をビーカーに入れ、脱イオン水を加えて150gとし、懸濁液を15分間膨潤させた後、ガラス棒を用い、手で約120 rpm/minの速度で攪拌しながら、85℃の恒温槽中で15分間予備糊化を行った後、スチームオープン (三菱電気 RO-3700 型) を用いて飽和水蒸気下で20分間加熱を行い、脱イオン水で濃度 (w/w) 補正後脱気し、測定用試料とした。

3. 曳糸性の測定

各種澱粉糊 (2, 3, 4%) を直径 50 mm, 高さ 14 mm のステンレス製シャーレに一定量移し、密封後 20℃ の恒温器中で 1.5 時間放置し、曳糸性測定用に改良した山電製レオナー、RE-33005 (著者らと山電との共同開発) を用いて、20, 30, 50℃ における各引張り速度 (1, 3, 5 mm/s) での曳糸距離および曳糸に伴う応力を測定した。本測定装置²²⁾は、電気インピーダンスを利用したもので、直径 1 mm のステンレス棒が高感度センサーの先端に取り付けられ、下部の試料台には絶縁体に取り付けられていて、試料台は等速直線運動で移動する。その上部の電極プレート上に試料を注入したステンレスシャーレのをせ、ステンレス棒の先端を試料に接触させて測定を開始すると、同時に試料台が下降し、上部の高感度センサーによって曳糸開始時から終了までの曳糸距離と曳糸応力をデジタル信号として検出するものである。村山ら²⁰⁾や Nakagawa²³⁾ が用いている曳糸性測定装置は、棒を試料中に一定量浸漬して引き上げるため、付着した

澱粉糊のしたたりの影響やサイン運動のための運動速度が一定でない等の問題があった。そこで、接触面積を小さくし、表面張力の影響を少なくすること、また、インピーダンスを用いて電気分解を防ぐように開発を行った。試作機において、デジタル表示された曳糸距離および曳糸応力をダイヤルゲージで測定し、確認を行った。

4. 流動特性の測定

ロトビスコ二重円筒回転粘度計 (Hakke 社製) を使用して、測定頭 MK 500, 試料容器 NV およびローター MV を用い、回転数 0~80 rpm (ずり速度 0~187.2 s⁻¹), 回転数変化率 10 min⁻² とし、各種澱粉糊の流動履歴曲線を測定し、各ずり速度に対するずり弾性率を求めるとともに降伏応力を求めた。

5. 静的粘弾性の測定

曳糸性測定用と同様に調製した各澱粉ペースト (2, 4%) を 20℃ の恒温器中で 1.5 時間放置し、10, 20, 30, 40℃ の各温度に調製後、レオメトリックス社製ストレスレオメーター、RSR-8600 を用いて測定した。本測定装置は、粘ちよう性食品の微小変形領域のレオロジー的性質の測定に適しているものであり、測定容器は、温度調節の可能な共軸円筒型 (クエット型, カップの直径 46 mm, 高さ 60 mm, ボブの直径 44 mm) を用いた。線形性の範囲内の微小ずり応力 (1.5 N/m²) を 30 秒間与えてクリープ測定を行った。常法^{24, 25)}により解析し、粘弾性定数を求めた。

なお、本論文は SI 単位を用いました。

実験結果

1. 澱粉糊の曳糸性

得られた代表的な荷重-変形曲線を Fig. 1 に示した。次式より曳糸エネルギー (E_n) を求めた。

$$E_n = \int_0^{\epsilon_f} P(\epsilon) d\epsilon = CS (J/m^3)$$

ここで、 E_n は曳糸エネルギー (J/m³), P は応力 (N/m²), ϵ は歪 (m/m), ϵ_f は曳糸終了点, d は曳糸距離 (mm), C は変動係数, S は面積である。

3種の澱粉糊 2, 3, 4% の 20 および 30℃ における曳糸距離と引張り速度の関係を Fig. 2 に示した。澱粉濃度を増すとともに、また、引張り速度が速くなるに従い、馬鈴薯澱粉の曳糸距離は著しく長くなる傾向が認められたが、カタクリと食用カンナ澱粉はわずかな伸びに過ぎなかった。温度依存性では、カタクリと馬鈴薯澱粉はいずれの引張り速度でも 30℃ よりも 20℃ におい

Fig. 1. Stress-strain curve of a starch paste.

て、曳糸距離の伸びが大きいのにに対し、食用カンナ澱粉は、引っ張り速度が速くなるにつれて、いずれの濃度でも曳糸距離は伸びる傾向にあるものの、引っ張り速度の小さいところでは測定温度間に顕著な差は認められなかった。

Fig. 3 には、3種の澱粉糊の濃度別（2, 3, 4%）および測定温度別（20, 30, 50℃），引っ張り速度 5×10^{-3} m/s における曳糸エネルギーと曳糸距離の関係を試料ごとにまとめて示した。いずれの澱粉糊も曳糸エネルギーと曳糸距離の相関は直線関係で示されたが、直線の傾きに大きな差が認められ、澱粉濃度および測定温度依存性に各澱粉の特徴が示されているものと考えられる。曳糸エネルギーは応力と距離の検出曲線の面積で求められるため、他の曳糸特性と複合して考察する必要がある。

2. 澱粉糊の流動特性

3種の4%澱粉糊液の20℃，ずり速度 $0 \sim 187.2 \text{ s}^{-1}$ で測定した流動履歴曲線を Fig. 4 に示した。いずれも、降伏値のあるチキソトロピー流動を示しているが、カタクリと食用カンナ澱粉糊は、ずり速度上昇曲線が下降曲線より高いずり応力を示し、馬鈴薯澱粉糊はずり速度下降曲線が上昇曲線よりも高い、いわゆる逆チキソトロピー的挙動¹⁵⁾を示した。

3種の4%澱粉糊液を20℃で測定した見かけの粘度のずり速度（ $5 \sim 187.2 \text{ s}^{-1}$ ）依存性を Fig. 5 に示した。いずれも、ずり速度が大きくなるほど粘度が小さくなるという典型的な構造粘性パターンを示したが、試料澱粉によってずり速度依存性の異なることが認められた。ずり速度 12 s^{-1} における見かけの粘度は、カタクリ，馬鈴薯，食用カンナ澱粉糊は、それぞれ、 $3.77, 3.80, 5.2 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \cdot \text{s}$ であるのに対し、最大ずり速度 187 s^{-1} における見かけの粘度は、それぞれ $0.43, 1.00, 0.93 \text{ N/m}^2 \cdot \text{s}$ に減少し、構造粘性はカタクリ澱粉糊において最

Fig. 2. Spinning distance of starch pastes at each tensile velocity.

●, ○, Katakuri; ▲, △, Potato; ■, □, Edible canna; ●, ▲, ■, Measurement at 20℃; ○, △, □, Measurement at 30℃.

も顕著であった。

3. 澱粉糊のクリープ特性

$10 \sim 40^\circ\text{C}$ で測定した2%の各種澱粉糊のクリープ曲線は、いずれも、瞬間変形部をフック弾性体，遅延変形部を2組のフォークト粘弾性体および定常変形部をニュートン粘性体の6要素模型で解析することができ、温度別（10, 20, 30, 40°C ）クリープ曲線より求めた粘弾性定数を Table 1 に示した。粘性率および弾性率ともに馬鈴薯澱粉糊が最も大きく、続いて食用カンナ，カタクリ澱粉糊の順であった。変形速度を示す遅延時間は、カタクリ澱粉糊は最も短く、定常変形部の粘性率も比較的小さいのが特徴である。しかし、馬鈴薯澱粉糊はとくに定常粘性率が大きい。

Fig. 3. Relationship between spinning energy and distance of starch pastes at 5×10^{-3} m/s of tensile velocity.

●, Katakuri; ▲, Potato; ■, Edible'canna. The spinnabilities of 2, 3 and 4% starch pastes were measured at 20, 30 and 50°C. Arabic numbers 1, 4 and 7 are 4% starch pastes; 2, 5 and 8 are 3% starch pastes; 3, 6 and 9 are 2% starch pastes; 1, 2 and 3 at 20°C; 4, 5 and 6 at 30°C; 7 and 8 at 50°C.

Fig. 6 に 10, 20, 30, 40°C で測定したクリープ曲線よりクリープコンプライアンスを求めて²⁵⁾示した。2%および4%澱粉糊の温度依存性は、いずれも、カタクリ>食用カンナ>馬鈴薯澱粉の順に大きかった。このことからカタクリ澱粉糊は温度上昇に伴い糊の弾性が減少することを示し、糊構造における絡みあいの柔軟性の増加が考えられる。各温度ごとのクリープコンプライアンスを時間の対数に対して目盛り、時間温度換算法に準じてマスターカーブを合成した結果を Fig. 7 に示した。10~40°C の温度範囲で、温度と時間の換算則の成立することが認められた。また、移動因子ファクター ($\log a_T$) と絶対温度の逆数との関係から、直線の傾きより Ferry および Tobolsky らの方法^{26,27)}に従い見かけの活性化エネルギーを求め、Table 2 に示した。見かけの活性化エネルギーは、2%澱粉糊では試料間の差が大きく、カタクリ澱粉が最も大きく、以下食用カンナ、馬鈴薯澱粉の順であった。しかし、4%澱粉糊では試料間の違いは少ない。

考 察

Nakagawa²³⁾は、曳糸性とは適当な粘性と弾性によって発現し、その程度は粘弾性のバランスに依存すると述べている。Akuzawa ら²²⁾は、各種澱粉糊液の曳糸曲線

について詳細に検討しているが、曲線には曳糸応力と曳糸歪（曳糸距離）の二つの要因が最も大きく関与することを報告している。本実験でも、馬鈴薯澱粉糊液は曳糸応力も大きく、よく伸びる性質のあることが示され、カタクリおよび食用カンナ澱粉糊は、曳糸応力はかなり大きいものの、曳糸距離があまり伸びない特徴をもっている。

3 試料澱粉のアミロース含量³⁾は、カタクリが 22.8%、馬鈴薯が 21.5%、食用カンナが 23.9% とほぼ近似した値である。アミロペクチンの鎖長分布^{3,28)}については、Fr. III/Fr. II はカタクリ澱粉が 2.0、馬鈴薯澱粉が 1.7、食用カンナ澱粉が 1.8 であり、Fr. II と Fr. III の和の平均鎖長はカタクリ澱粉がやや長く、Fr. II の重量%は、カタクリ澱粉 33.7%、馬鈴薯と食用カンナ澱粉がそれぞれ約 38% と 35% であり、これらの性質が曳糸性を特徴付けているように考えられるが、さらに詳細に検討する必要がある。

澱粉糊液の流動履歴曲線は、ずり速度を一定の割合で段階的に変化させたときに得られるずり応力を記録したものであるが、一定のずり速度に達した後、逆にずり速度を減少させてずり応力の履歴を求めたものである。Marsh²⁹⁾は流動履歴曲線を 9 種に分類しているが、カタクリおよび食用カンナ澱粉糊液は、ずり速度上昇曲線

Fig. 4. Flow curves of 4% starch pastes at 20°C.

A, Katakuri; B, Potato; C, Edible canna. Py_1 : Measured at increasing shear rate, Py_2 : Measured at decreasing shear rate. $\rightarrow$, up curve; $\leftarrow$, down curve.

が下降曲線よりも高いずり応力を示す粘性食品に多い一般的なチキソトロピー的挙動をもっている。馬鈴薯澱粉糊液流動特性について、平尾¹⁵⁾はチキソトロピー的挙動、逆チキソトロピー的挙動、混合的挙動の3種があることを報告しているが、本実験による条件下での測定では、逆チキソトロピー的挙動を示し、興味深い結果である。

逆チキソトロピー的挙動とは攪拌することにより硬くなる現象であり、アミロース含量やアミロペクチンの鎖長分布とも関係がありそうである。今後の課題にしたいと考えている。また、4%澱粉糊の見かけの粘度のずり速度依存性は、カタクリ澱粉糊に顕著な構造粘性がみられ、ずり速度の遅いところでは見かけの粘度は馬鈴薯や食用カンナ澱粉糊よりも高く、ずり速度が早くなると見かけの粘度が低くなることは、アミロースの平均鎖長がやや長い³⁾ ために、糊構造の絡み合いがゆるく、ずり速

Fig. 5. The double logarithmic plots of apparent viscosity (η) versus shear rate of starch pastes at 20°C.

●, Katakuri; ▲, Potato; ■, Edible canna.

度の遅いところでは大きなずり応力として作用するが、ずり速度が速くなると密な糊構造へと変化し、トータルとしてのずり応力が減少するためと考えられる。

2%各種澱粉糊液のクリープ曲線から求めた粘弾性定数をみると、とくに馬鈴薯澱粉糊液の瞬間弾性部と、定常粘性部の値が、カタクリ澱粉糊に比べて約7~10倍、食用カンナ澱粉糊に比べて約1.5~2倍大きいのが、これらの性質が曳糸特性の曳糸距離や曳糸エネルギーとの関係がありそうである。

中川³⁰⁾によれば、試料液のある特定の濃度域で、粘弾性のバランスがとれているとき、一定速度で引き上げると曳糸性が最大となると述べている。2~4%馬鈴薯澱粉糊液の曳糸距離が長く、曳糸エネルギーも大きいのは、アミロースやアミロペクチンの分子構造によるものであり、クリープ曲線の瞬間弾性部の値と定常粘性部の値のバランスが、曳糸発現に大きな寄与をしているのではないかと考えられる。

Takahashi ら¹⁹⁾は各種澱粉糊の粘度を一定にした場合の曳糸特性について検討し、曳糸距離と緩和時間の相関は試料によって異なることを報告しているが、本研究で用いた澱粉糊についても、静的粘弾性の遅延時間(広義での緩和時間³¹⁾)と曳糸距離および曳糸エネルギーとは必ずしも相関は見出されなかった。

クリープ特性については、キャッサバ²⁶⁾、クズおよびサツマイモ³²⁾、ヤマノイモ³³⁾澱粉ゲルについての報告が

Table 1. Viscoelastic coefficients of 2% starch pastes at various temperatures.

Sample	Tem. of measurement (°C)	Elasticity (N/m ²)			Viscosity (N/m ² ·s)			Retardation time (s)	
		E_H	E_{V1}	E_{V2}	η_{V1}	η_{V2}	η_N	τ_{V1}	τ_{V2}
		× 10			× 10				
Katakuri	10	0.71	0.29	0.26	0.75	0.26	6.52	2.6	1.0
	20	0.33	0.21	0.24	0.23	0.14	4.33	1.1	0.6
	30	0.15	0.11	0.08	0.12	0.05	1.80	1.1	0.6
	40	0.05	0.06	0.03	0.05	0.02	0.09	0.8	0.5
Potato	10	6.81	2.91	2.67	20.95	3.20	91.40	7.2	1.2
	20	5.20	2.56	2.35	17.76	2.35	82.18	6.9	1.0
	30	3.72	1.87	2.29	10.85	1.60	78.40	5.8	0.7
	40	2.08	1.39	1.28	7.78	0.77	54.37	5.6	0.6
Edible canna	10	2.92	0.71	0.67	3.55	0.53	35.60	5.0	0.8
	20	1.94	0.45	0.52	2.21	0.27	19.18	4.9	0.5
	30	1.02	0.32	0.44	1.57	0.18	12.36	4.9	0.4
	40	0.89	0.23	0.33	0.83	0.13	6.50	3.6	0.4

E_H , Instantaneous elastic modulus ; E_{V1} and E_{V2} , Retardation elastic modulus ; η_{V1} and η_{V2} , Retardation viscosity ; τ_{V1} and τ_{V2} , Retardation time ; η_N , Newtonian viscosity.

Fig. 6. Creep compliance curves of starch pastes at various temperatures.

A, Katakuri ; B, Potato ; C, Edible canna. Symbols of measurement temperature ; ○, 10°C ; ●, 20°C ; □, 30°C ; ■, 40°C

Fig. 7. Master creep curves of 2 and 4% starch pastes.

A, Katakuri; B, Potato; C, Edible canna. Symbols of measurement temperature: ○, 10°C; ●, 20°C; □, 30°C; ■, 40°C. The master creep curves could be composed for starch pastes from the creep curves at 20°C as a standard.

Table 2. Apparent activation energy of 2 and 4% starch pastes.

Sample	Apparent activation energy (kJ/mol)	
	2 %	4 %
Katakuri	59.4	41.5
Potato	12.8	26.2
Edible canna	32.9	28.5

ある。いずれも濃度は10%であるが、4要素模型で解析されているのに対し、本研究のカタクリ、馬鈴薯および食用カンナ澱粉糊では2および4%という低濃度であるためか、遅延変形部の比率が大きく、6要素模型で解析された。Table 1に示した粘弾性定数の瞬間弾性率や定常変形部の粘性率における試料間の傾向は、2%とい

う低濃度にもかかわらず、前報³⁾の澱粉濃度6%のビスコグラフィーによる最高粘度や10%懸濁液の糊化過程の動的粘弾性挙動の貯蔵弾性率(G')や損失弾性率(G'')の変化と類似し、カタクリ澱粉糊が馬鈴薯や食用カンナ澱粉糊に比べて、小さい値を示している。しかし、本実験のクリープ測定からは遅延変形部の挙動をとらえることができ、遅延弾性率(E_{V1}, E_{V2})および遅延粘性率(η_{V1}, η_{V2})、さらに変形速度を示す遅延時間が求められたが、カタクリ澱粉は3種の澱粉糊の中で最も短い時間で変形が進行することから、柔な網目構造をもっていることが考えられる。各種温度で測定したクリープコンプライアンスから合成したマスターカーブでも、カタクリ澱粉糊が最も温度の影響を受けやすいことが認められている。先にも述べたように、カタクリ澱粉のアミロペクチンのFr. IIの数平均鎖長は、馬鈴薯や食用カンナ澱粉に比べてやや長い傾向にあるが、Fr. IIの数平均鎖長は、カタクリ澱粉が11.5であるのに対し、馬鈴薯と食用カンナ澱粉²⁸⁾は、それぞれ14.7と13.7であり、カタクリ澱粉はやや短い。また、Fr. IIとFr. IIIの重量比では、Fr. IIIが馬鈴薯と食用カンナ澱粉が、それぞれ62.0%と64.9%であるのに対し、カタクリ澱粉は67.3%を占め、短鎖長の割合が多いことから、カタクリ澱粉糊が緩やかなクリープ特性を示すのは、これらの分子特性によるものと考えられる。

今後さらに、これらのレオロジー的性質と澱粉の構成成分であるアミロースおよびアミロペクチンの微細構造との関係について研究したいと考えている。

要 約

カタクリ鱗茎から澱粉を調製し、対照として馬鈴薯および食用カンナ澱粉を用い、低濃度における澱粉糊の曳糸性、流動特性および静的粘弾性を検討し、以下のようない結果を得た。

1) 3種の2, 3, 4%澱粉糊の曳糸性を20, 30, 50°Cにおいて測定したところ、濃度、温度および引っ張り速度依存性が認められた。馬鈴薯澱粉糊は曳糸応力も大きく、よく伸びる性質のあることが示され、カタクリおよび食用カンナ澱粉糊は、曳糸応力はかなり大きいものの、曳糸距離があまり伸びない特徴をもっている。

2) 回転粘度計を用いて、4%澱粉糊の流動履歴曲線を測定したところ、カタクリおよび食用カンナ澱粉糊は降伏値のあるチキソトロピー流動を示した。馬鈴薯澱粉糊も降伏値をもつがずり速度下降曲線が上昇曲線よりも高い、いわゆる逆チキソトロピー的挙動を示した。また、

カタクリ澱粉糊に最も顕著な構造粘性がみられた。

3) 2,4% 澱粉糊のクリープ特性では、粘性率および弾性率ともに馬鈴薯澱粉糊が最も大きく、続いて食用カンナ、カタクリ澱粉糊であった。変形速度を示す遅延時間は、カタクリ澱粉糊は最も短く、定常粘性率も比較的小さいのが特徴である。クリープコンプライアンスよりマスターカーブが合成され、見かけの活性化エネルギーを求めた結果、カタクリ>食用カンナ>馬鈴薯澱粉糊の順に大きかった。

終わりに、静的粘弾性の測定にご便宜をおはかりくださったレオメトリックスファーマーイースト㈱に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 川端晶子：でん粉と食品, **16**, 31-48 (1991).
- 2) 杉本温美, 山下安代, 井ノ内直良, 藤森正宏, 川村吉也, 不破英次：澱粉科学, **36**, 265-272 (1989).
- 3) 相川りゑ子, 阿久澤さゆり, 永島伸浩, 川端晶子：澱粉科学, **39**, 165-174 (1992).
- 4) K. ISHIDA and T. TAKEUCHI : *Agric. Biol. Chem.*, **45**, 1409-1412 (1981).
- 5) D. D. DUXBURY : *Food Process*, **47**, 48-49 (1981).
- 6) O. DESCAMPS and P. LANGEVIN : *Food Technol.*, **40**, 81-86, 88 (1986).
- 7) R. J. JYE : *Food Hydrocolloids*, **2**, 259-266 (1988).
- 8) M. ALLONCLE, M. J. LEFEBVRE, G. LLAMAS and J. L. DOUBLIER : *Cereal Chem.*, **66**, 90-93 (1989).
- 9) J. L. BOUBLIER : *Starch*, **33**, 415-420 (1981).
- 10) R. B. K. WONG and J. LELIEVRE : *Rheol. Acta.*, **20**, 299-307 (1981).
- 11) R. B. K. WONG and J. LELIEVRE : *Starch*, **34**, 231-233 (1982).
- 12) R. B. K. WONG and J. LELIEVRE : *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 1433-1440 (1982).
- 13) J. L. DOUBLIER and G. LLAMAS : *Cereal Chem.*, **64**, 21-26 (1987).
- 14) 山本和夫, 菅井裕子, 小野垣俊雄：澱粉科学, **29**, 277-288 (1982).
- 15) 平尾和子, 村山祐子, 中浜信子, 赤羽ひろ：家政誌, **36**, 10-17 (1985).
- 16) P. JANAS and P. TOMASIK : *Starch*, **38**, 189-192 (1986).
- 17) M. HAERROED : *J. Food Process Eng.*, **11**, 297-309 (1989).
- 18) P. JANAS : *Starch*, **43**, 168-171 (1991).
- 19) R. TAKAHASHI, T. OJIMA, M. YAMAMOTO : *Starch*, **21**, 315-318 (1969).
- 20) 村山祐子, 小林三智子, 赤羽ひろ, 中浜信子：日食工誌, **33**, 274-280 (1986).
- 21) 福場博保：「澱粉科学ハンドブック」, 二國二郎監修, 朝倉書店, 東京, p. 166 (1982).
- 22) S. AKUZAWA, S. SAWAYAMA and A. KAWABATA : *Biosci. Biotech. Biochem.*, **56**, 932-936 (1992).
- 23) T. NAKAGAWA : *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **25**, 88-93 (1952).
- 24) 川崎種一, 宮本 勲 : *New Food Ind.*, **24**, 20-24 (1982).
- 25) 川端晶子, 澤山 茂：農化, **50**, 555-562 (1976).
- 26) 永島伸浩, 澤山 茂, 川端晶子, 中村道徳：澱粉科学, **37**, 21-28 (1990).
- 27) 中川鶴太郎：「レオロジー第2版」, 岩波書店, 東京, p. 222 (1978).
- 28) 石井靖子, 永島伸浩, 川端晶子, 中村道徳：澱粉科学, **37**, 251-257 (1990).
- 29) B. D. MARSH : *Trans. Soc. Rheol.*, **12**, 489-510 (1968).
- 30) 中川鶴太郎：「レオロジー第2版」, 岩波書店, 東京, p. 234 (1978).
- 31) 高分子学会：「レオロジーハンドブック」, 丸善, 東京, p. 193 (1965).
- 32) N. NAGASHIMA, M. YAMAZAKI and A. KAWABATA : *J. Home Econ. Jpn.*, **40**, 683-690 (1989).
- 33) 新井貞子, 永島伸浩, 澤山 茂, 川端晶子：家政誌, **42**, 141-149 (1991).

(平成4年10月22日受付, 平成5年1月19日受理)