荒粉こんにゃくの力学的性質に及ぼす 「のり」放置温度の影響

笠井八重子*・大野婦美子**

Effect of Aging Temperature of Sol on the Mechanical Properties of Konjac Gel Prepared from Crude Powder "Arako"

Yaeko KASAI* and Fumiko OHNO**

* Faculty of Education, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-naka, Okayama, Okayama 700-8530

** Kurashiki Sakuyo, Collage, 3515, Tamashima-nagao, Kurashiki, Okayama 710-0292

The effects of aging temperature of Konjac sol in the process of making Konjac were studied at 35, 60, and 90°C by rupture testing and creep measurement of manufactured Konjac with a Rheometer. The mechanical properties (viscoelasticity, rupture stress, rupture energy, initial elasticity) of Konjac were decreased with an increase in aging temperature when the sample was prepared using "Arako" (dried slices of Konjac-root), especially remarkable in aging at 90°C. However, the viscoelasticity, rupture stress, rupture energy and initial elasticity of Konjac prepared from "Seiko" (isolated powder) were not affected by the aging temperature. The rupture stress, rupture energy and initial elasticity of Konjac prepared from the powder with a smaller particle size (83-100 mesh) were decreased evidently by aging at 90°C. By using the smallest particle size (200-330 mesh) of powder, it was impossible to make Konjac gels. The viscoelasticity and rupture stress of Konjac made from the mixture of large (42-83 mesh) and small (200-330 mesh) particle size powder (1 : 0.3) were decreased at 90°C. This suggested that the decrease in the viscoelasticity and rupture stress of the gel was induced by the smaller particle size of powder.

The Konjac sols of 200-330 mesh was not glutinous and low viscosity, contrary to these of 42-83 mesh. This powder (200-330 mesh) was considered as "Tobiko" contained 30-40% in the crude "Arako" powder.

(Received May 28, 2001 ; Accepted Oct. 30, 2001)

こんにゃくはわが国の伝統的食品の一つであり、各産地には生産されるコンニャクイモの性質に応じた伝統的な製造法が確立されている¹⁾²⁾。産地農家のこんにゃく製造過程ではイモを加熱・摩砕して調製した「のり」を加温熟成したり、凝固剤として木灰汁を使用するなど、イモこんにゃく独自の物性をつくるための多くの工夫がみられる¹⁾²⁾。これらのイモこんにゃくは表面が滑らかで軟らかく、弾力とともに特有な粘りもち、硬くて弾力のみ強い精粉（せいこ）こんにゃくとは異なる性質を有している²⁾。このことから、今日ではこんにゃく加工業者

でもイモこんにゃくのもつ特性に注目して、価格が割高になっても生イモを用いて製造することも多くみられる。

こんにゃくの原材料には、生イモ、切り干しイモ、精粉があるが、生イモを切断・乾燥させた切り干しイモおよびこれを粉砕したものは一般に荒粉（あらこ）と呼ばれ、荒粉を粉砕分離して、いわゆる飛粉といわれる粒子を除去したものが精粉である³⁾。飛粉は荒粉に約3割含まれ、成分としては炭水化物、粗蛋白質、灰分などであり³⁾、荒粉はマンナン粒子を主体とする精粉とは異なる

* 岡山大学教育学部（〒700-8530 岡山県岡山市津島中3丁目1-1

** くらしき作陽大学食文化学部（〒710-0292 岡山県倉敷市玉島長尾3515）

成分組成を有する。この荒粉によるこんにゃくの製造は年間を通じてイモを利用する方策の一つであるが、一般にその製造は難しいといわれている。

荒粉こんにゃくは原料である干しイモを膨潤させて調製した「のり」に凝固剤を添加後、成形、加熱固化して製造されるが、広島県総領町の加工業者は製造工程において、調製した「のり」に加温操作を実施して独自の製造を行っており、とくに「のり」に凝固剤を添加して 80℃ 位で長時間放置することが極めて重要な操作であるとしている²⁾。また、こんにゃく産地農家の伝統的製造法にみられる「のり」の膨潤・熟成のための放置温度は、ぬるま湯程度から 80–90℃ の高温域まで調製方法と関連して種々設定されているが、特に、「のり」の加温条件はイモの特性を生かす手段として極めて重要視されており¹⁾、「のり」の放置・熟成温度がこんにゃくの物性に影響する重要な要因と考えられる。

本研究では、荒粉こんにゃく製造工程における「のり」の熟成のための放置温度が、こんにゃくの力学的性質に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。さらに、荒粉を粒度別に篩い分けし、それぞれの粒度別こんにゃくの力学的性質が「のり」放置温度によって、どのような影響を受けるかを検討した。

実験方法

1. 供試材料

広島県総領町地域で生産、加工された切り干しイモおよび精粉（在来種）を購入し供試材料とした。業界では切り干しイモを荒粉と称しているが、ここでは混乱を避けるため、切り干しイモを干しイモ荒粉、これを粉砕したものを粉砕荒粉として区別する。粉砕荒粉は家庭用ミルで粉砕し、振盪機（RE-2、テラオカ製）及びタイラー標準ふるいを用いて粒度分布を調べた。精粉と粉砕荒粉の粒度分布を Table 1 に示した。粉砕荒粉は 100 g 中、35–83 mesh が 66% をしめ、83–200 mesh 10%、200–330 mesh 24% であった。粉砕荒粉の粒度別実験では、このうち 1–4 画分を供試した。精粉については約 90% が 35–100 mesh であったことから 35–100 mesh を使用した。

2. 「のり」およびこんにゃくの調製法

精粉濃度は 3.0% (w/w) とし、「のり」放置温度は 35℃ を基盤に、35、60、90℃ とした。「のり」調製は一定粒度の原料粉 4 g に対し、130 g の温湯（蒸留水、50℃）を加えてホモジナイザー（AM-7、東洋精機製、）を用いて 10 000 rpm で 10 分間攪拌し、これを所定の温度（サクラ精機製恒温器、IF-18）で 120 分間放置した。干しイ

Table 1 Particle size distribution of Konjac powders

Sample No.	Mesh	"Arako"	"Seiko"
		g/powder 100 g	
1	35~ 42	10	0
2	42~ 60	30	12
3	60~ 83	26	51
4	83~100	5	25
5	100~120	2	10
6	120~140	2	2
7	140~200	1	0
8	200~330	24	0

"Arako": powder of dried slices of Konjac-root

"Seiko": isolated powder

モ荒粉の場合は予備実験を行って、生イモこんにゃくに近似した性状となる使用量を設定した。すなわち、試料 4 g に対し 92 g の温湯に 60 分間浸漬・膨潤後、さらに 60 分加温して組織を軟化させ、蒸発水分量を補って家庭用ミキサー（日立、VA-950）で 1 分間攪拌し、これを同様に放置して調製した。干しイモの乾燥組織は温湯浸漬だけでは戻りが充分でなく、均一な「のり」が得難いことから、予備実験の結果この方法によった。また、粉砕荒粉に含まれる微粒子の影響を検討するため、大粒子に微粒子荒粉を配合して「のり」を調製して実験に供した。こんにゃくの製造は前報⁴⁾に準じ、各温度条件下で調製した「のり」に、凝固剤として水酸化カルシウム（石津製薬、特級）を「のり」の重量の 0.1% (w/w) 使用した。製造したこんにゃくは室温まで放冷して保存液（0.01% 水酸化カルシウム溶液）に入れ、冷蔵庫内（5℃）に 1 日放置して安定させた後、溶液から取り出し、室温に 60 分間放置したものを測定試料とした。

3. こんにゃくの力学的性質の測定

クリープメーター（レオナー RE-3305 型、山電製）を用いて破断試験とクリープ試験を行った。測定用試料は調製した 7×7×4 cm のこんにゃくを超音波サンプルカッター（USC-3305、山電製）を用いて、中央部を 20×20×20 mm に切り出して供試した。

(1) 破断試験

直径 5 mm の円柱型プランジャーを用い、前報⁴⁾と同様に貫入試験を行った。得られた応力-歪曲線から破断応力、破断エネルギー、破断歪、初期弾性率の特性値⁵⁾を求めた。

(2) クリープ測定

直径 30 mm の円盤型プランジャーを用い、試料台スピード 5 mm/sec、荷重・除重時間は各々 300 sec で行った。試験荷重は各試料の線形性範囲内（約 10 % 以内）荷重で行い、得られたクリープ曲線を一般化フォークト模型⁶⁾に近似させ、粘性率、弾性率を次式により求めた。

$$J(t) = 1/E_0 + 1/E_v [1 - \exp(-t/\tau)] - t/\eta_N$$

$J(t)$. creep compliance

E_0 . Elasticity of Hookean body

E_v . Elasticity of Voigt body

η_N . Viscosity of Newtonian body

測定は破断試験、クリープ試験とともに繰り返し 5-8 回行い、5 回の平均値で示した。なお、測定中の試料温度は $25 \pm 1^\circ\text{C}$ で行った。

4. 「のり」のビスコグラフ

粒度を異にする「のり」の粘性特性を調べるため、42-60 mesh、および 200-330 mesh の試料を対象として、ビスコグラフ (VS6E/PT, R6B, パーカコーポレーション製) を用いて測定した。各粒度の「のり」は予備実験において官能評価（手の触感）した結果、35-200 mesh 試料では粘性の程度に差異は認められたものの、質的には類似の粘性を有すると評価されたのに対し、200-330 mesh 試料は 35-200 mesh 試料とは異なる質感を有すると考えられたことから、200-330 mesh 試料と、35-200 mesh の中から最も多く採取できた 42-60 mesh 試料を対照として測定した。昇温速度は $1.5^\circ\text{C}/\text{min}$ として、「のり」温度が 90°C に達した時点から、さらに 90°C 、60 分を保持し、回転数は 75 rpm で測定した。

5. SEM による観察

200-330 mesh の微粒子について SEM（低真空走査型電子顕微鏡 S-3500N、日立製作所）を使用して 1000 倍で観察した。

実験結果及び考察

1. 「のり」放置温度の影響

精粉「のり」及び干しイモ荒粉の「のり」を、温度を変えて放置熟成させ製造したこんにゃくの力学的特性値を Table 2 に示した。精粉こんにゃくでは放置温度が高くなると破断応力、破断エネルギー、初期弾性率の各破断特性値はやや低下したものの、有意な差はみられなかった。したがって、「のり」放置温度の違いが、精粉こんにゃくの力学的性質に与える影響は極めて小さいと考えられた。これに対し、干しイモ荒粉によるこんにゃくは、 90°C 放置で、こんにゃくの破断応力、破断エネルギーは大きく減少した。とくに、 35°C の場合と比べ破断応力は 47% に減少し、放置温度の影響が顕著に認められた。初期弾性率についても 90°C 放置で減少しており、精粉こんにゃくに認められた影響とは明らかに相違することが示された。また、これらの現象は 60°C では認められなかった。破断歪については各試料とも約 50 % で、精粉、干しイモ荒粉に相違はなく、「のり」放置温度の影響はみられなかった。

次に、干しイモ荒粉こんにゃくの「のり」放置温度による粘弾性の変化を Fig. 1 に示した。 35 、 60 、 90°C の各温度で熟成させて調製したこんにゃくのクリープ曲線はフック体弾性率、フォークト体弾性率、フォークト体粘性率、ニュートン体粘性率の 4 要素モデルとして近似的に表すことができた。 90°C 放置では、フック体、フォークト体の各弾性率、フォークト体粘性率、ニュートン体粘性率の低下がみられ、破断試験と同様の傾向であった。 35 、 60°C では、フック体弾性率、フォークト体弾性率の変化は小さく、弾性要素に対する 35 - 60°C 放置温度の影響は微少であった。

以上の結果、こんにゃくの力学的性状に及ぼす「のり」

Table 2 Comparison of the mechanical properties of Konjac prepared with "Seiko" and "r-Arako" at different aging temperatures of sol

Aging temperature ($^\circ\text{C}$)	Rupture stress $\times 10^3 \text{ Pa}$		Rupture strain %		Rupture energy $\times 10^4 \text{ J/m}^3$		Initial elasticity $\times 10^5 \text{ Pa}$	
	S	r-A	S	r-A	S	r-A	S	r-A
35	2.53 ± 0.16	2.16 ± 0.16	51.5 ± 1.2	50.7 ± 1.3	4.59 ± 0.39	3.91 ± 0.32	19.27 ± 0.21	17.38 ± 0.50
60	2.40 ± 0.15	1.91 ± 0.11	50.0 ± 1.1	50.7 ± 1.4	4.28 ± 0.35	3.56 ± 0.34	18.98 ± 0.23	17.20 ± 0.46
90	2.30 ± 0.18	1.01 ± 0.08	49.0 ± 1.3	50.9 ± 0.9	4.01 ± 0.30	1.92 ± 0.17	18.08 ± 0.48	11.13 ± 0.40

S: "Seiko", isolated powder r-A: "r-Aarako", dried slices of Konjac-root

Each value is the mean $\pm$ standard deviations of five measurements.

Fig. 1 Effects of aging temperature of sol on viscoelastic parameters of Konjac prepared from dried slices of Konjac-root "r-Arako"

放置温度の影響は、干しイモ荒粉を用いたこんにゃくに主に認められる現象であり、90℃条件において特徴的にみられることが明らかとなった。大変形下における破断試験および微小変形下におけるクリープ試験の結果から

みて、干しイモ荒粉こんにゃくの弾性率、粘性率ならびに破断応力などの特性値は、60℃放置での影響は少なく、「のり」の90℃放置によって減少すると考えられた。

2. こんにゃくの力学物性に及ぼす荒粉粒度の影響

干しイモ荒粉のこんにゃくにおける「のり」放置(90℃)の影響は、粒度別粉碎荒粉によっても同様に認められるかを調べた。試料は4画分(No1-4)で、これによりこんにゃくの調製を行った。なお、No8の微粒子試料(200-330 mesh)では凝固剤添加及び加熱によっても固化がみられず、こんにゃくの製造は不可能であった。

また、No5-No7(100-200 mesh)の小粒子では、採取可能な荒粉が1-2%と極めて少量であり、これを多量に調製することが技術的に困難であった。100-200 meshの粒子については、前掲⁷⁾も採取量が極めて少なく、多量に調製することが難しいとしており同様の傾向であった。Table 3に4画分(No1-4)の試料粉を用いた場合の、35℃、90℃放置によるこんにゃくの破断特性値を示した。粉碎荒粉の粒子が小さいほど90℃放置で、破断応力、破断エネルギー、初期弾性率が35℃に比べて低下した。また、この特性値にみられる90℃放置の影響は粒子の粒径の低下に伴って段階的に増大せず、No4の試料区(83-100 mesh)からとくに顕著に認められることがわかった。この83-100 meshの粒子はイモ組織中に存在したものの外に粉碎により生じた可能性も推測される。この点については、前掲⁷⁾は精粉中の粒子分布を検討した報告⁷⁾の中で、83-100 meshの粒子は約4.7%程度存在し、これ以上に小さい画分中に含まれるマンナン粒子は未成熟な小粒子で微量であることを報告している。また、このマンナン小粒子の生成はイモ生体中における成長条件によるものであり、粉碎の影響は極めて小さいと考察している⁷⁾。本実験においても83-100 meshの粒度の粉碎荒粉はTable 1に示したように5%で、100-200

Table 3 Differences in the mechanical properties of Konjac prepared from "Arako" with various particles sizes by aging sols at 35℃ and 90℃

Sample particle size	Rupture stress (10 ⁵ Pa)		Rupture strain (%)		Rupture energy ×10 ⁴ J/m ³		Initial elasticity ×10 ⁵ Pa	
	35	90	35	90	35	90	35	90
Mesh/℃								
35~ 42	1.99±0.06	1.89±0.15	47.5±0.2	50.0±0.7	3.48±0.08	3.47±0.15	15.75±0.29	13.71±0.31
42~ 60	2.24±0.18	1.88±0.17	52.7±0.1	51.3±1.8	4.27±0.10	3.46±0.17	15.23±0.69	12.50±0.52
60~ 83	2.19±0.16	1.58±0.11	54.1±0.3	50.8±0.6	4.17±0.22	2.96±0.16	12.17±0.29	11.60±0.27
83~100	1.81±0.06	0.86±0.02	58.9±0.4	60.1±1.0	3.59±0.15	1.85±0.07	7.85±0.25	5.53±0.26

"Arako": powder of dried slices of Konjac-root

Each value is the mean±standard deviations of five measurements.

Fig. 2 Stress-strain curves and creep and creep recovery curves of Konjac prepared from the mixture of the large and the smallest particle fraction of "Arako" by aging of sol at 35°C and 90°C

Large particle size of powder : 42-60 mesh, Smallest particle size of powder : 200-330 mesh

The ratio of the large and the smallest particle size of powder in the mixture is 1 : 0.3

Control : 42-60 mesh (----- : 35°C, — : 90°C)

(1) stress-strain curves

----- : 35°C, — : 90°C

(2) creep and creep recovery curves

----- : 35°C, — : 90°C

meshの小粒子も微量であり一致した結果であった。したがって、本試料の粒度分布も粉碎条件による影響は極めて小さいと考えられた。さらに、大粒子における放置温度の影響は小さかったことからみて、干しイモ荒粉の90°C放置による物性変化は83-100 meshの小粒子及び、200-330 meshの微粒子の存在に起因するものと考えられた。

200-330 meshの微粒子粉については、前述したように単独使用ではこんにゃくの製造が不可能であったことから、42-60 mesh (No 2) の粉に200-330 meshの微粒子 (No 8) を3割配合して、同様の調製方法で「のり」90°C下の影響を検討した。混合比率は、著者らが大き粒子と微細粒子を種々配合して行った予備実験の中で、干しイモ荒粉こんにゃくの性状に最も近い配合割合と認められた比率の3割を設定し、対照は42-60 mesh粒子とした。破断試験、クリープ試験におけるプロフィールをFig. 2-1, 2に示した。微粒子配合のこんにゃくは、90°C放置によって、応力-歪曲線は低く、クリープコンプライアンス曲線は高い曲線を描き、90°C放置の影響を大きく受けることがわかった。一方、対照試料では、こんにゃくの応力-歪曲線およびクリープコンプライアンス曲線は35°C、90°C放置でその挙動に差異はみられず、90°C放置の影響は認められなかった。

したがって、荒粉こんにゃくの力学的性質に及ぼす

「のり」放置温度の影響は、粉碎荒粉の粒度区分中の83-200 meshの小粒子、及び200-330 meshの微粒子の存在によって生じると結論できる。とくに、粉碎荒粉における200-330 meshの微粒子は24%存在したことから、力学的性質に及ぼす影響は大きいと考えられる。

3. 微粒子の組織構造

200-330 mesh粒子のSEM観察結果をFig. 3に示した。ここでは細胞膜の断片が残存しており、その内部や

Fig. 3 SEM photograph of "Tobiko"

Tobiko : fly powder generated by Konjac-root
(×1000)

Fig. 4 Viscograms of Konjac sol

A : 42-60 mesh sol, 1.5% (w/w) B : 200-330 mesh sol, 10% (w/w).

Heating rate ; 1.5°C/min, Range ; 1000 cm/g, Holding time ; 60 min (90°C)

周辺部に球状の粒子が観察された。粒径は1-6 μ m程度でやや角張った形状がみられ、1-3 μ mの小粒子が多い。前報⁴⁾の飛粉添加「のり」の微細構造観察において、「のり」の網目にひっかかるようにして散見された2-3 μ mの粒子はこの小粒子と推測される。杉本ら⁸⁾は、コンニャクデンプン粒子はジャガイモ、サツマイモデンプンと比べて非常に小さい粒であり、その最多粒は1-2 μ mと報告している。200-330 mesh 粉の主成分としてはデンプンやマンナン、蛋白質であることが報告⁹⁾されており、1-3 μ mの粒子はデンプン粒子の可能性が考えられる。さらに各画分のデンプンやマンナンの分析による確認が必要とされる。

4. 昇温過程における「のり」の粘度変化

昇温過程における微粒子溶液の粘度変化を知るためビスコグラフを測定し、その結果をFig. 4に示した。微粒子「のり」(B)は、機器の設定条件下では粘度を記録できなかったため3.0% (w/w) から10% (w/w) に濃度を上げて観察した。(B)は温度30-78°Cまでは試料液の粘度変化は少なかったが、80°Cから急激な上昇がみられ、90°Cでのビスコグラフの値は300 B.U.を示した。90°C保持では370 B.U.まで上昇したが、その後、ほぼ300 B.U.を保持し、時間経過によっても粘性の増減やブレイクダウンはみられなかった。こんにゃく加工業者の

荒粉こんにゃく製造にみられた80°C加熱処理や伝統的調製法にみられた「のり」の加温熟成¹⁾は、この微粒子の特性に合致した温度設定と推察された。杉本ら⁸⁾はコンニャクデンプン(在来)の性状を測定しており、その溶解度は80°Cで非常に大きくなり、さらに、80°C、90°Cでは高い膨潤度を示したとしている。また、この特性は60°Cでは極めて低いことを報告している。(B)溶液の加温による粘性の変化は、コンニャクデンプンの溶解度や膨潤度の特性発現と類似したものと考えられ、成分の影響のあることが推測される。また、イモこんにゃくがもつ滑らかさや特有の粘性感にも、微粒子「のり」の性状の関与があるのではないかと考えられた。一方、(A)の42-60 meshの試料では、こんにゃく製造における一般的精粉濃度である3%で測定したところ、機器の測定限界を超え、(B)とは極めて異なる高粘度を示した。そこで、1.5%濃度で粘性変化を測定した。(A)では、加水直後から急激な粘度上昇がみられ、コンニャクマンナン粒子が吸水膨潤し、ゾル化している過程と考えられた。90°C、1時間放置の後半には大きな振幅がみられたが、これは「のり」の組織構造が攪拌によって部分的に破壊されて不均一な小塊になったため、トルクの不連続性が示されているものと思われる。

以上の結果、A、B両液の加温による粘性変化の様相

が大きく異なることが示されたが、この粘性変化の相違が何によるものであるかについては、構成粒子の大きさや形態の差異からくる膨潤性や粘性の相違、各種成分の温度による影響など多くの要因が複合しているものと考えられ、詳細な検討を必要とする。しかし、試料中のデンプンやマンナンなどの成分の温度による影響の関与が示唆されたものと思われる。

また、粉碎荒粉中の 200-330 mesh の微粒子は、本実験で示された粒度分布及び粘度特性の結果からみて、荒粉中の飛粉に相当するものと考えられる。すなわち、荒粉こんにゃく製造における「のり」放置の影響は、微粒子の少ない精粉では 90℃ 放置の影響が少なかったことから、主に微粒子である飛粉成分が影響を受けるものであり、イモこんにゃくがもつ滑らかさや粘性の付与に関与することが示唆されたものといえる。

要 約

荒粉こんにゃく製造工程中の「のり」調製時における放置熟成温度が荒粉こんにゃくの力学の性質に及ぼす影響を検討し、次のような結果を得た。

(1) 干しイモ荒粉によるこんにゃくの破断応力、破断エネルギー、初期弾性率は「のり」放置温度 90℃ で低下した。精粉こんにゃくでは「のり」放置温度の影響は極めて微小であった。

(2) 「のり」放置温度 90℃ の影響は荒粉の粒径により異なった。42-100 mesh 試料で製造したこんにゃくでは、試料粒子が小さいほど放置温度の影響を受け、力学物性値は低下した。とくに 83-100 mesh の小粒子で顕著な低下が認められた。200-330 mesh の微粒子粉ではこんにゃく製造は不可能であった。

(3) 42-60 mesh の大粒子に微粒子を 3 割配合して製

造したこんにゃくでは、「のり」90℃ 放置により、応力-歪曲線、クリープコンプライアンス曲線は 35℃ の場合と比べて顕著に相違することが示された。

(4) 42-60 mesh 「のり」が高粘性であったのに対し、200-330 mesh の微粒子「のり」は低粘性を示した。また、昇温に伴う粘性変化にも明らかな相違が認められた。200-330 mesh 「のり」の粘度上昇は 80℃ で認められ、90℃、1 時間保持によっても粘性の増減はなかった。

(5) 干しイモ荒粉こんにゃくの「のり」放置 (90℃) による物性変化は、荒粉に含まれる 200-330 mesh の微粒子成分の影響によって生じ、この微粒子は飛粉に相当することが示唆された。

文 献

- 1) 笠井八重子：岡山大学教育学部研究集録，100，151 (1995)。
- 2) 笠井八重子：岡山大学教育学部研究集録，101，131 (1996)。
- 3) 沖増 哲：こんにゃくの科学 (溪水社，広島)，297-299 (1993)。
- 4) 大野 婦美子・笠井八重子：食科工，49，19 (2002)。
- 5) 川端 晶子：食品物性学 (建帛社，東京)，95 (1989)。
- 6) 村上健吉：レオロジー基礎論 (産業図書，東京)，97 (1992)。
- 7) 前梶健治・今井 寛：日食工誌，17，549 (1970)。
- 8) 杉本温美・山下安代・国重直美・不破英次：応用糖質科学，42，223 (1995)。
- 9) 滝口 強・中居ツヤ・丸山純子・木村紀久・川野 郁夫：昭和 61 年度群馬県工業試験場年報，198-204 (1986)。

(平成 13 年 5 月 28 日受付，平成 13 年 10 月 30 日受理)