

高圧処理した卵黄の流動特性

小谷スミ子, 宮本 勲*, 香西みどり**,
畑江敬子**, 島田淳子***

(新潟大学教育人間科学部, * 東機産業(株), ** お茶の水女子大学生活科学部,
*** 昭和女子大学大学院生活機構研究科)

原稿受付平成 11 年 10 月 20 日; 原稿受理平成 12 年 7 月 19 日

Rheological Properties of Egg Yolk Subjected to High Hydrostatic Pressure

Sumiko ODANI, Isao MIYAMOTO,* Midori KASAI,**
Keiko HATAE** and Atsuko SHIMADA***

Faculty of Education and Human Sciences, Niigata University, Niigata 950-2181

** Touki Sangyo Co. Ltd., Minato-ku, Tokyo 105-0004*

*** School of Human Life and Environmental Science, Ochanomizu University,
Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610*

**** Graduate School, Course of Science for Living System, Showa Women's University,
Setagaya-ku, Tokyo 154-8533*

A high hydrostatic pressure of 100-400 MPa was applied to fresh egg yolks. The rheological properties of the resulting egg yolks were evaluated by measuring viscosity at a high shear rate (10^{-1} - 10^3 s $^{-1}$) in steady-state and at a very low shear rate (10^{-1} - 10^{-3} s $^{-1}$) in spring relaxation. The flow curves for the egg yolks showed non-thixotropic behavior after the application of 200-300 MPa, but thixotropic behavior after 400 MPa. The thixotropic property and yield values were then evaluated. The thixotropic parameter T_h of the egg yolk pressurized at 400 MPa (12.8×10^3 Pa·s $^{-1}$) was larger than that of egg yolk pressurized at 100 MPa (0.09×10^3 Pa·s $^{-1}$). The viscosity of all pressurized egg yolks obeyed the power law. While the consistency index K was increased, the flow behavior index n was decreased with increasing pressure and time applied. Casson's yield value in the spring relaxation was 140 MPa for the egg yolk which had been pressurized at 400 MPa for 10 min. This value is less than the 340 MPa which was evaluated for the steady state. This result indicates that a spring relaxation study would be useful for evaluating the yield value.

(Received October 20, 1999; Accepted in revised form July 19, 2000)

Keywords: high pressure 高圧, egg yolk 卵黄, rheological property 流動特性, thixotropy チキソトロピー, spring relaxation ばね緩和, Casson's yield value Casson 降伏値.

1. 緒言

近年, 様々な食品への高圧利用が研究されている(林 1989 a, 1990, 1991, 1993). 卵黄は高圧処理により凝固し, 加熱した時とは異なった透明感のあるゲル状となることが知られており(岡本等 1989), ゲルの破断特性については 2~3 の報告がある(Hayashi *et al.* 1989; 岡本 1993; Dumoulin 等 1997). しかしながらゲル化するまでの流動特性の変化については, わずかに本間と芳賀(1993)の報告はあるものの, 詳細な検討はなされていない. そこで本研究では, 加圧に

よる卵黄の流動特性の変化を明らかにすることを目的とした.

卵黄のような分散系の試料においては, ずり速度によって粘度は大きく異なり, 口腔内で人間が知覚する粘性には低いずり速度における挙動が大きく関与することが知られている(勝田 1996). しかし低ずり速度領域における食品の流動特性についての報告はほとんどないと言っても過言ではない. そこで, 極低ずり速度領域 (10^{-1} ~ 10^{-3} s $^{-1}$) の流動特性の測定が可能である R 500 型粘度計(関口 1993)を用いて, ばね緩

和測定 (Patton 1966; Smith 1982) を試みた. この結果と階段状ずり速度上昇下降測定 (五十嵐 1991; 以下定常流測定という) により, 極低ずり速度から高ずり速度領域の広い範囲に亘る卵黄の流動特性を明らかにしようとしたものである.

2. 試料および実験方法

(1) 試料

養鶏場より産卵後4時間以内の白色レグホン種鶏卵を入手し, 直ちに実験に供した. 鶏卵の重量は50~60gで, 卵黄係数は0.40~0.50であった.

(2) 高圧処理方法

割卵後卵白と分離し, 卵黄膜を除去した卵黄をポリプロピレン製のセル容器 (直径28.5mm, 高さ85mm, 容積約50ml) に充填密封してから高圧試験カプセル (株) 山本水圧工業所製の試料容器 (直径30mm, 高さ100mmの円筒形, 容積約70ml) に入れて加圧した. 加圧条件は, 100~400MPaで10分間および400MPaで10~60分間とした. 試料容器は高圧試験カプセルに恒温水槽の水を循環させて25℃に保った. 所定の圧力に達するまでの所要時間は約2分, 常圧に戻すのに要する時間は約30秒とした. 加圧時の温度変化は見られず, 圧力解除時に約1℃の温度上昇が見られたが, いずれも30秒以内に25℃にもどった.

(3) 流動特性の測定

高圧処理直後の卵黄の流動特性を以下により測定した. 定常流測定にはE型粘度計 (EHD, (株) 東京計器) およびR型粘度計 (RE500U型, 東機産業(株)) を用いた. それぞれ半径14mmおよび9.7mmの3°のコーン・ロータを用い, 試料量はそれぞれ0.55mlおよび0.30mlとした. 試料にずりを与えないために, 先端をカットした1.00mlのプラスチックシリンジを用いて, 試料を粘度計にセットし, 60秒間20℃で静置後, 20℃で測定した. E型粘度計およびR型粘度計の回転数 N (ずり速度 D) をそれぞれ0.5~100rpm (1~200 s⁻¹) および0.1~100rpm (0.2~200 s⁻¹) まで階段状に上昇下降させて指針指度 θ (%) を自動記録した. 各回転数における継続時間は0.1rpmでは100秒, その他の回転数では60秒とした.

ばね緩和測定には上記のR型粘度計を用いた. 試料を粘度計のコーン・プレートに入れ, 0.1rpmで100秒間前処理した後, ロータをロックし, うず巻きばねを目標指度 θ まで巻き上げ, 次にロータのロッ

クを外し, バネの復元する過程, すなわちバネのねじれ角 θ (%) と時刻 t (s) の関係を自動記録した. すべての測定は2回または3回繰り返し行った.

(4) 流動特性の解析

定常流測定で得られた指針指度 θ (%) および回転数 N (rpm) より (1) 式および (2) 式を, ばね緩和測定で得られたバネのねじれ角 θ (%) および時刻 t (s) より (1) 式および (3) 式を用いて, ずり速度 D (s⁻¹) およびずり応力 S (Pa) を算出し流動特性を解析した.

$$S = k_1 \cdot \theta \quad (1)$$

$$D = k_2 \cdot N \quad (2)$$

$$D = k_2 \cdot \Delta\theta / \Delta t \quad (3)$$

ここで k_1 はずり応力係数, k_2 はずり速度係数である.

流動曲線 (S - D) のヒステリシスループの面積からチキソトロピー特性値 T_h を, 粘度曲線 (η - D) から粘稠性係数 K と流動性指数 n を求めた. Casson プロット ($\sqrt{S}-\sqrt{D}$) から Casson 降伏値 S_c を求め, 定常流測定およびばね緩和測定による Casson 降伏値を S_{cE} および S_{cR} とした. 定常流測定およびばね緩和測定におけるデータの解析はそれぞれマイクロソフト・エクセルおよび流動解析ソフト (VA550, 東機産業(株)) を用いて行った.

3. 結果および考察

(1) 卵黄の流動曲線に及ぼす圧力および時間の効果
はじめに卵黄の流動特性に及ぼす圧力の大きさの影響を調べた. その結果, 圧力の大きさに伴ってずり応力は大きくなった (Fig. 1). 500MPaでは卵黄の流動性が失われ粘度の測定が不可能であった. 400MPa加圧卵黄は, 定常流測定の上昇曲線と下降曲線の間でヒステリシスループを描き, 明らかなチキソトロピー性を示した. また生卵黄 (0.1MPa) と100MPa加圧卵黄も程度は弱いながらチキソトロピー性を示した. 一方200MPaおよび300MPa加圧卵黄は下降曲線が上昇曲線より高いずり応力を示し, 400MPa加圧卵黄とは異なる逆チキソトロピー性を示した. このような逆チキソトロピー的挙動は食品では馬鈴薯デンプン糊液 (山本等 1982; 平尾等 1985) やガム類溶液 (村山 1996) に見られるのみでほとんど例のない現象であり, 特異的な流動特性をもっていると言える.

次に圧力を400MPa一定にし, 加圧時間の影響を調べた (Fig. 2). 加圧時間30分までは加圧時間の増加と共にずり応力が増加し, しかもチキソトロピー性

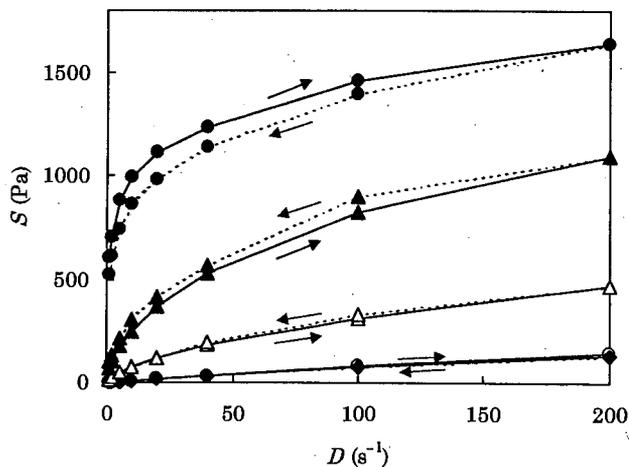


Fig. 1. Flow curves for egg yolks after the application of high hydrostatic pressure at various pressures

Fresh egg yolks were pressurized in the range 100–400 MPa at 25°C for 10 min. The viscosity of each resulting egg yolk was measured with an E type viscometer at 20°C. ○, 0.1 MPa (atmospheric pressure); ◆, 100 MPa; △, 200 MPa; ▲, 300 MPa; ●, 400 MPa; —, increasing shear rate curve; ----, decreasing shear rate curve.

を示すヒステリシスループの面積も大きくなっていった。ただし30分加圧卵黄では、 $10\sim 40\text{ s}^{-1}$ 付近でずり応力のずり速度に伴う増加が停滞する現象が見られ、ずりによる構造の破壊が加圧10分および20分と異なる傾向にあることが示唆された。45分以上加圧した卵黄は、 5 s^{-1} 付近でずり応力が急激に低下し構造全破壊(川崎 1980)が生じた。 10 s^{-1} 以降のずり応力は粘度計の指針度度が不規則な振れ方をしたことから滑りによるものである。

以上より、卵黄の物性に及ぼす圧力の効果は、圧力の大きさおよび時間によってそれぞれ異なることが明らかになり、条件によって特異的な挙動を示すことが認められた。

卵黄は卵黄膜に包まれ内部は脂質を含まないタンパク質リベチン溶液中に卵黄球、顆粒、低密度リポタンパク質(LDL)ミセル、マイエリン像が分散している(佐藤等 1989)。卵黄球(直径約 $22\text{ }\mu\text{m}$)は非常に壊れやすく、均質なりポタンパク質からなる基質内部に $0.25\sim 1.75\text{ }\mu\text{m}$ のタンパク性小顆粒が分散している。タンパク性小顆粒は高密度リポタンパク質(HDL)のリポビテリンとリンタンパク質のホスピチンの複合体からなる 4 nm 程度の微小粒子の集合体である(Chang et al. 1977; Perry and Gilbert 1985; Mineki

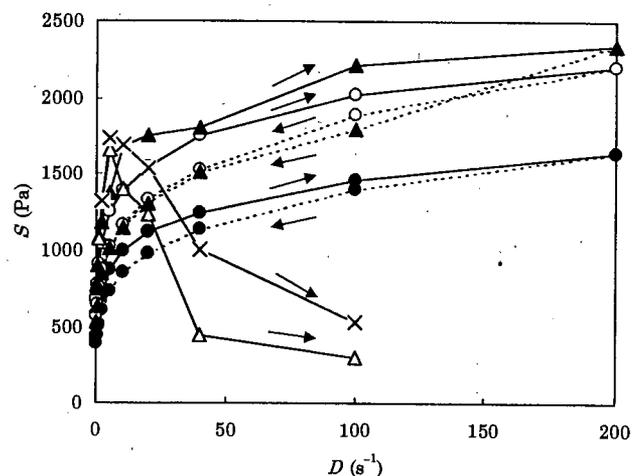


Fig. 2. Flow curves for egg yolks after the application of high hydrostatic pressure for various times

Fresh egg yolks were pressurized for 10–60 min at 400 MPa and 25°C. The viscosity of the resulting egg yolk was measured with an RE500U viscometer at 20°C. ●, 10 min; ○, 20 min; ▲, 30 min; △, 45 min; ×, 60 min; —, increasing shear rate curve; ----, decreasing shear rate curve.

and Kobayashi 1997).

このように複雑な成分と組成を持った卵黄が圧力により変性し、粘稠性食品としては特異な流動特性を示した理由の一部として以下のことが考えられる。

タンパク質の水溶液に圧力を加えると、ルシャトリエの法則に従い、水もタンパク質も構造変化を起こし、水溶液全体の体積が減るように即応するため、タンパク質の非共有結合が自発的に変化し、ひいては、4次、3次、2次構造が崩壊するという過程をとる。タンパク質を構成している脂肪族アミノ酸側鎖からなる疎水結合とイオン結合は加圧により切れる方向に向かい、タンパク質分子内あるいは周囲の水との間の水素結合は形成しやすい方向に向かう。タンパク質に限らず非共有結合で立体構造の形成と保持がなされている核酸、多糖類、リポタンパク質など生体高分子も高圧の影響を受け構造が壊れる。実際は、圧力の程度や非共有結合にあずかる原子団の種類により、非共有結合の生成や消滅は複雑な過程を経ることが知られている(林 1989 b)。

100 MPa 加圧卵黄のタンパク質は圧力解除とともに元にもどる可逆的変性を受ける。そのため生の卵黄と変わらない挙動を示したものと考えられる。200–300 MPa 加圧では、卵黄の球状タンパク質の主鎖がひも

Table 1. Thixotropic parameters of egg yolks after the pressure treatment

Pressure (MPa)	Time (min)	T_h ($\times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)
0.1	10	+0.13
100	10	+0.09
200	10	-0.45
300	10	-2.03
400	10	+12.8
400	20	+24.7
400	30	+57.2
400	45	
400	60	

Fresh egg yolks were pressurized at 100-400 MPa for 10 min and at 400 MPa for 10-60 min at 25°C. Thixotropic parameter T_h was calculated from the hysteresis loop shown in Figs. 1 and 2. A plus sign for T_h indicate thixotropy, and a minus sign, non-thixotropy.

状に伸びた状態に変性し圧力を解除しても元にもどらない不可逆的変性を受ける。この状態の卵黄にずりを加えるとずり速度上昇に伴いひも状分子がからみ合い、このからみ合いがずり速度下降時にさらに形成されることで逆チキソトロピー的挙動をとったものと考えられる。400 MPa 加圧では、卵黄の体積がさらに減少するため変性タンパク質分子同士が近づき分子内あるいは分子間の疎水結合が進んで網目構造が形成され、加圧時間の延長とともに網目構造が密になる。この卵黄にずりを加えるとずり速度の増加と共に網目構造の破壊が進み、復元するのに時間を要するチキソトロピー的挙動をとるものと考えられる。卵黄はタンパク質だけでなく上述した複雑な成分と組織をもっていることから、卵黄の圧力変性機構についてはさらなる解明が必要であろう。

(2) 流動特性を示すパラメータ

高圧処理により卵黄の流動特性に興味深い変化が見られたので、各種パラメータを求めて圧力の影響を検討した。

1) チキソトロピー特性値

チキソトロピーの度合いを示すチキソトロピー特性値 T_h を重量法 (中濱等 1997) を用いて次式 (4) により算出した。

$$T_h (\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}) = \frac{A}{U} \cdot 10^2 \quad (4)$$

ここで A はヒステリシスループの重量、 U は単位面

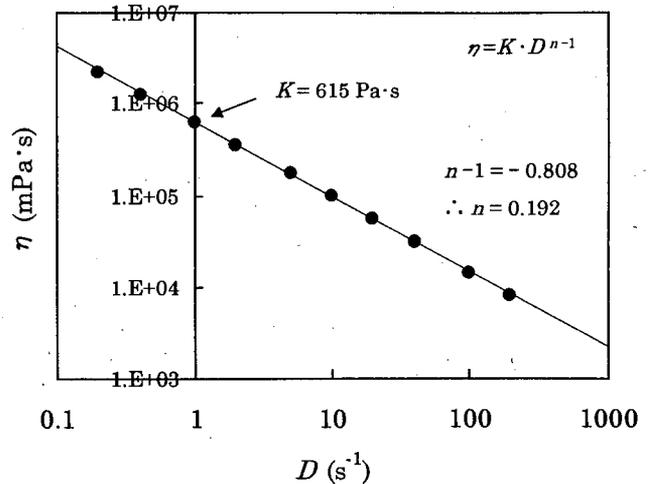


Fig. 3. log η -log D plot of egg yolk after the pressure treatment

Viscosity η was plotted against shear rate D for the egg yolk which had been pressurized for 10 min at 400 MPa and 25°C. The indices in power law, K and n , were calculated from the equation $\eta = K \cdot D^{n-1}$, where K is the consistency index and n is the flow behavior index.

積当たり ($1 \times 10^2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) の重量である。

その結果、加圧卵黄のチキソトロピー特性値は圧力の大きさとともに増大し、加圧時間の増加とともに大きくなった (Table 1)。一般に T_h 値が大きいほど試料の構造破壊の回復が遅いことを意味する。従って圧力が高くなるほど、また加圧時間が延長するほど卵黄の構造がずり速度に対して不安定で、変化しやすいものであると言える。

2) ベキ法則の定数

高圧処理した卵黄の粘度 η とずり速度 D の関係を両対数グラフ上に示したところ、Fig. 3 に一例を示したように直線関係が認められた。これより (5) 式 $\eta = K \cdot D^{n-1}$ が適用できることが認められた。ベキ法則の定数 K および n を Fig. 3 に併記し、Table 2 に示した。400 MPa で 30 分および 45~60 分間加圧した卵黄はずり速度 $0.2 \sim 10 \text{ s}^{-1}$ および $0.2 \sim 5 \text{ s}^{-1}$ の範囲で求めた値である。

粘稠性係数 K はずり速度 1 s^{-1} におけるみかけの粘度に相当する。加圧卵黄の K 値は 300 MPa までは変化が少なかったが 400 MPa 加圧により著しく上昇した。加圧時間 30 分までは増加しそれ以後変化が見られなかった。下降曲線の K 値は上昇曲線より低値であった。

流動性指数 n は、ずり速度による流動しやすさのパラメータである。加圧卵黄の n 値は 200 MPa までは

Table 2. Indices in the power law for egg yolks after the pressure treatment

Pressure (MPa)	Time (min)	K (up) (Pa·s)	K (down) (Pa·s)	n (up)	n (down)
0.1	10	0.48	0.44	0.890	0.930
100	10	0.69	0.68	0.927	0.930
200	10	2.04	2.14	0.883	0.875
300	10	29.3	31.4	0.560	0.550
400	10	615	537	0.192	0.206
400	20	920	769	0.171	0.191
400	30	1,060	743	0.187	0.193
400	45	1,070		0.286	
400	60	1,040		0.322	

Consistency index K and flow behavior index n in the power law were calculated by the equation $\eta = K \cdot D^{n-1}$ plotted in Fig. 3, where η is the viscosity, and D is the shear rate; up shows the increasing curve for shear rate, and down shows the decreasing curve for shear rate.

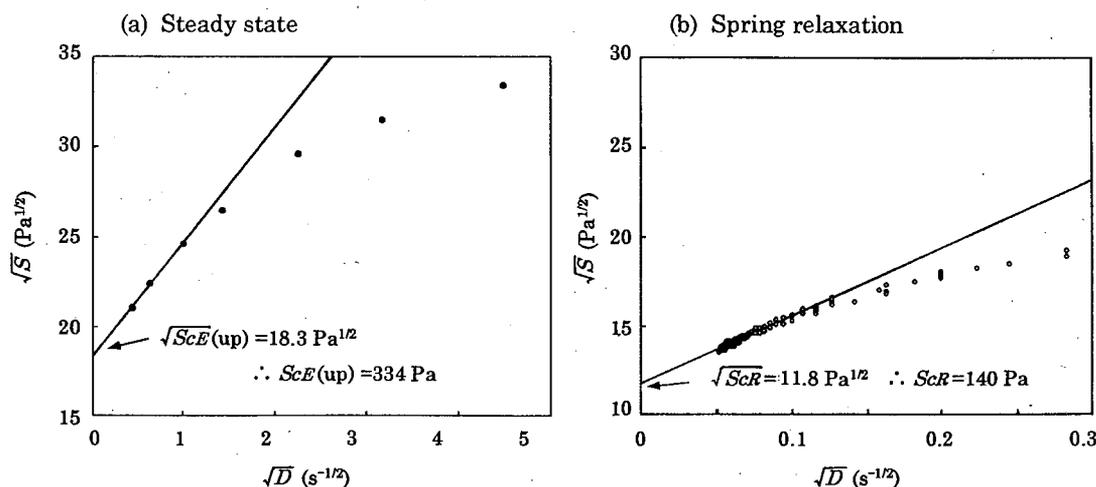


Fig. 4. \sqrt{S} - \sqrt{D} plot of egg yolk after the pressure treatment

Shear stress S was plotted against shear rate D for the egg yolk pressurized for 10 min at 400 MPa and 25°C. Casson's yield value; S_c , was calculated by Casson's equation $\sqrt{S} = \sqrt{S_c} + \sqrt{\mu_c \cdot D}$, where S is the shear stress, μ_c is Casson's viscosity, S_{cE} is Casson's yield value in the steady-state, and S_{cR} is Casson's yield value in the spring relaxation.

変化が少なかったが 300~400 MPa 加圧により著しく下降した。加圧時間の延長による変化は少なかった。加圧卵黄は圧力の上昇とともに卵黄の構造が壊れ、粘性が高まり流動性が小さくなることが示された。

3) 降伏値

降伏値は次に示す Casson の流動方程式 (6) 式により解析し, Casson 降伏値 S_c を求めた。

$$\sqrt{S} = \sqrt{S_c} + \sqrt{\mu_c \cdot D} \quad (6)$$

ここで S はずり応力, μ_c は Casson 粘度, D はずり速度である。

i) 定常流測定による Casson 降伏値

400 MPa で 10 分間加圧した卵黄の定常流測定の上昇曲線における Casson プロットを Fig. 4-a に示した。本プロットでは, ずり速度 $0.45 \text{ s}^{-1/2} \leq \sqrt{D} \leq 1.00 \text{ s}^{-1/2}$ の範囲で直線性が得られたため, これを外挿して定常流測定による Casson 降伏値 S_{cE} (up) を求めた。得られた S_{cE} (up) を Fig. 4-a に併記した (矢印)。この結果 (Table 3), 加圧卵黄の S_{cE} (up) と S_{cE} (down) は圧力の大きさとともに増大した。しかし加圧時間の延長に伴い一時増加したがそれ以後減少した。長時間

Table 3. Casson's yield values for egg yolks after the pressure treatment

Pressure (MPa)	Time (min)	S_{cE} (up) (Pa)	S_{cE} (down) (Pa)	S_{cR} (Pa)
0.1	10	0.02	0.02	
100	10	0.03	0.04	
200	10	0.24	0.14	
300	10	20.6	24.5	
400	10	334	310	140
400	20	539	465	229
400	30	576	392	251
400	45	425		263
400	60	379		222

Casson's yield value S_c was calculated by Casson's equation $\sqrt{S} = \sqrt{S_c} + \sqrt{\mu_c \cdot D}$ plotted in Fig. 4, where S is the shear stress, D is the shear rate, and μ_c is Casson's viscosity. S_{cE} is Casson's yield value in the steady-state, and S_{cR} is Casson's yield value in spring relaxation; up shows the increasing curve for shear rate, and down shows the decreasing curve for shear rate.

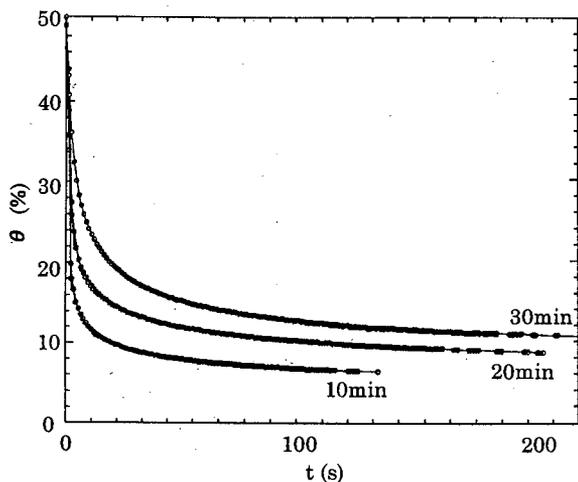


Fig. 5. θ - t (spring relaxation) plots of egg yolks after the pressure treatment

Fresh egg yolks were pressurized for 10-30 min at 400 MPa and 25°C. The θ (%) value with time in spring relaxation was measured with an RE500U viscometer.

加圧した卵黄はもろく、ずりを与えることで滑りが生じたためと考えられる。下降曲線の S_{cE} (down) は上昇曲線の S_{cE} (up) より低値となったが、300 MPa では逆に高値となった。これは Fig. 1 の流動曲線で逆チキソトロピー性を示したことと同義である。

ii) ばね緩和測定による Casson 降伏値
定常流における測定は、低いずり速度におけるの試

料の挙動が詳細に捉えられず、降伏値 S_{cE} の値は正確さにおいて劣ると考えられる。そこでより正確な流動特性をつかむためにはばね緩和による測定を試みた。

400 MPa で加圧時間を変えて高圧処理した卵黄のばね緩和曲線を Fig. 5 に、また Fig. 5 より求めた例として 10 分間加圧した卵黄のばね緩和測定における Casson プロットを Fig. 4-b に示した。ばね緩和では、極低ずり速度で細かい測定を行っているため Casson 式 (6) 式が $0.05 \text{ s}^{-1/2} \leq \sqrt{D} \leq 0.125 \text{ s}^{-1/2}$ の範囲で適用でき、これを外挿してばね緩和測定による Casson 降伏値 S_{cR} を求めた。得られた S_{cR} を Fig. 4-b に併記した (矢印)。

ばね緩和で求めた S_{cR} は 140 Pa であり、先に定常流の上昇曲線から求めた S_{cE} (up) 334 Pa (Fig. 4-a) の約 40% と小さい値を示した。この理由として考えられるのは Fig. 4-a における外挿の方法である。すなわち Fig. 4-a ではずり速度 $D=0.2, 0.4, 1.0 \text{ s}^{-1}$ ($\sqrt{D}=0.45, 0.63, 1.0 \text{ s}^{-1/2}$) におけるずり応力 S の 3 点からなる回帰直線から外挿して降伏値を求めている。しかしずり応力は Fig. 4-a から明らかなように、 $\sqrt{D}=1.0 \text{ s}^{-1/2}$ 以上では下方に向かって曲線となっており、このことより $\sqrt{D}=0.45 \text{ s}^{-1/2}$ 以下においてもより低い方へ向けて曲線を描くことが当然予想される。しかし、本測定法ではこれ以下のずり速度におけるずり応力を測定することができなかった。ばね緩和による測定は

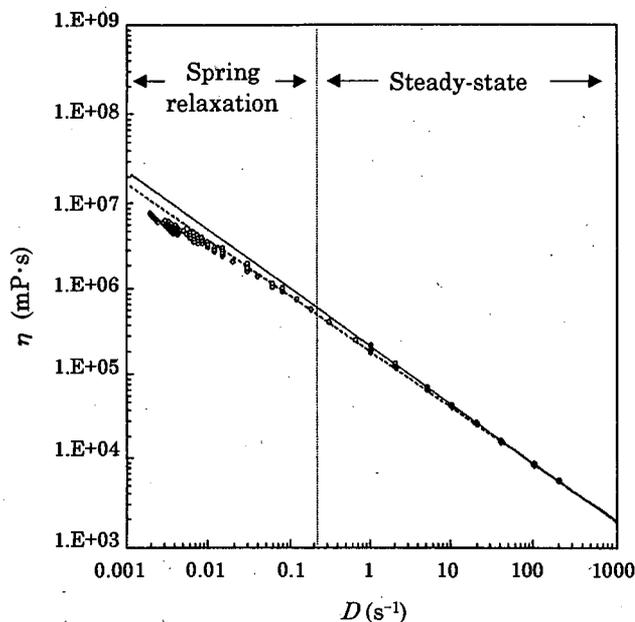


Fig. 6. $\log \eta$ - $\log D$ plot of egg yolk after the pressure treatment

Viscosity η was plotted against shear rate D for the egg yolk pressurized for 10 min at 400 MPa and 25°C under spring relaxation and steady-state conditions. —, regression line for the increasing shear rate in the steady-state; ----, regression line for the decreasing shear rate in the steady-state.

$\sqrt{D} = 0.30 \text{ s}^{-1/2}$ 以下におけるずり応力を詳細に捉えており、定常流測定における欠点を克服することができたと考える。

400 MPa で時間を変えて加圧した卵黄の S_{CR} を Table 3 に示した。ばね緩和で求めた S_{CR} はいずれも、定常流測定の上昇曲線から求めた S_{cE} (up) の約 1/2 と小さい値を示した。定常流測定では加圧 30 分以降に S_{cE} (up) が減少したが、ばね緩和測定では加圧 45 分以降に S_{CR} が減少した。加圧時間の延長による S_{CR} の変化は S_{cE} (up) に比べ少なかった。ばね緩和測定ではずりの与え方が僅かであることによるものと言える。これらの結果から、ばね緩和の有用性が実証された。ばね緩和ではずり速度が定常流の 1/1,000 と非常に小さいことから流動開始の真の降伏値 S_0 により近いと考えられる。

(3) 定常流測定とばね緩和測定併用による粘度挙動
ばね緩和測定と定常流測定とから得られた粘度 η とずり速度 D の両対数プロット $\log \eta$ - $\log D$ を重ねてプロットすると広いずり速度範囲での粘度挙動を直接知ることができる。一例として 400 MPa, 10 分間加圧

した卵黄プロットを Fig. 6 に示した。ばね緩和で測定したプロットが定常流で測定したプロットを外挿した直線からはずれるカーブを描いたことから、極低ずり速度領域 $10^{-1} \sim 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ での粘度挙動と高ずり速度領域 $10^{-1} \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$ での粘度挙動が異なることが判る。

降伏値は一般に粘稠性のある物質の保形性に関係し、食べ物のおいしさを評価する上で大切な値である。例えばマヨネーズをサラダなどにかけたときの星形を保つ状態、あんかけやソース類を野菜や魚肉にかけた時の流れ去らず一定の厚さを保っている状態、和え物のまつわりつきやすさなどゾル状食品に要求されるレオロジー的性質を示す(中濱等 1997)。すなわち食べたときに最初に感じる粘稠性と大きく関わっている重要な性質である。

本研究により、従来の定常流測定法の問題点を改良しばね緩和法の精度の高さを実証し、その有用性を示すことができた。

ばね緩和測定により得られた食品のデータは未だ見られない。本報告はばね緩和測定を行ったのみならず、定常流測定と組み合わせ極低ずり速度領域から高ずり速度領域にわたる粘度挙動を調べることに特徴がある。

また卵黄を高圧処理することで流動特性に変化が見られたことは非常に興味深い結果である。この変化の違いは、卵黄の成分のみならず卵黄の微細構造が大きく関与しているものと考えられることから、現在光学顕微鏡・走査電子顕微鏡・透過電子顕微鏡による観察を行っている。

4. 要 約

加圧卵黄の流動特性に及ぼす高圧処理の影響を明らかにするため定常流測定とばね緩和測定を行った。

(1) 卵黄の流動特性は、加圧条件により大きく異なった。生および 100 MPa の卵黄は弱いチキソトロピー性を示し、200 MPa および 300 MPa では逆チキソトロピー性、400 MPa では明らかなチキソトロピー性を示し、圧力に依存して構造変化が起こっていることが示唆された。

(2) 400 MPa のチキソトロピー特性値は $12.8 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ と 100 MPa の $0.09 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ より著しく大きかったが、加圧時間による増加は少なかった。

(3) 加圧卵黄はいずれもベキ法則に従い、粘稠性係数 K は圧力および時間の増加とともに増加し、一方、流動性指数 n は減少する傾向が見られた。

(4) Casson 降伏値は圧力の大きさ、時間とともに増加したが 30 分以上の加圧では低下した。

(5) 極低ずり速度によるばね緩和測定で得られた 400 MPa, 10 分間の Casson 降伏値 140 Pa は定常流測定での 334 Pa より小さかったことからばね緩和の有用性が示唆された。

なお、本報の概要は、日本家政学会第 51 回大会において発表したことを付記する。

引用文献

- Chang, C.M.W., Power, D., and Fennema, O. (1977) Microstructure of Egg Yolk, *J. Food Sci.*, **42**, 1193-1200
- Dumoulin, M., 小澤省吾, 林 力丸 (1997) Textural Properties of Pressure-Induced Gels of Food Proteins Obtained under Different Temperature, 『高圧生物学と高圧技術』(鈴木敦士, 林 力丸編), さんえい出版, 京都, 101-108
- 林 力丸 (1989 a) 『食品への高圧利用』, さんえい出版, 京都, 79-88
- 林 力丸 (1989 b) 高圧下現象の食品分野への利用, 『食品への高圧利用』(林 力丸編), さんえい出版, 京都, 1-30
- 林 力丸 (1990) 『加圧食品—研究と開発』, さんえい出版, 京都, 165-178, 225-234, 249-262
- 林 力丸 (1991) 『高圧科学と加圧食品』, さんえい出版, 京都, 336-343
- 林 力丸 (1993) 『生物と食品の高圧科学』, さんえい出版, 京都, 267-281, 365-372
- Hayashi, R., Kawamura, Y., Nakasa, T., and Okinaka, O. (1989) Application of High Pressure to Food Processing: Pressurization of Egg White and Yolk, and Properties of Gels Formed, *Agric. Biol. Chem.*, **53**, 2935-2939
- 平尾和子, 村山祐子, 赤羽ひろ, 中浜信子 (1985) 馬鈴薯澱粉糊液の流動特性, 家政誌, **36**, 10-17
- 本間一男, 芳賀紀之 (1993) 鶏卵の物性に与える高圧処理の影響, 『生物と食品の高圧科学』(林 力丸編), さんえい出版, 京都, 325-329
- 五十嵐秀明 (1991) セメントスラリー, 『分散系レオロジーと分散化技術』(梶内俊夫, 薄井洋基編), 信山社サイテック, 東京, 127-176
- 勝田啓子 (1996) 食べ物のおいしさとレオロジー, 分散系・界面物性研究会第 15 回例会, 東京, 1-4
- 川崎種一 (1980) 回転粘度計による粘性測定の実際, *New Food Ind.*, **22** (4), 57-63; **22** (5), 44-56; **22** (6), 29-40
- Mineki, M., and Kobayashi, M. (1997) Microstructure of Yolk from Fresh Eggs by Improved Method, *J. Food Sci.*, **62**, 757-761
- 村山篤子 (1996) 増粘多糖類の調理科学的研究, 家政誌, **47**, 959-971
- 中濱信子, 大越ひろ, 森高初恵 (1997) 『おいしさのレオロジー』, 弘学出版, 横浜, 38-39
- 岡本巳恵子 (1993) 加圧卵黄および卵白ゲルのレオロジー的性質, 就実論叢, **23**, 83-92
- 岡本巳恵子, 出内智子, 林 力丸 (1989) 高圧加工食品の物性および官能検査, 『食品への高圧利用』(林 力丸編), さんえい出版, 京都, 89-101
- Patton, T.C. (1966) A New Method for the Viscosity Measurement of Paint in Settling, Sagging, Leveling and Penetration Shear Rate Range of 0.001 to 1.0 Reciprocal Seconds Using a Cone/Plate Spring Relaxation Technique, *J. Paint Tech.*, **38**, 656-666
- Perry, M.M., and Gilbert, A.B. (1985) The Structure of Yellow Yolk in the Domestic Fowl, *J. Ultrastruct. Res.*, **90**, 313-322
- 佐藤 泰, 田名部尚子, 中村 良, 渡辺幹二 (1989) 『卵の調理と健康の科学』, 弘学出版, 横浜, 20-21
- 関口宏治 (1993) R 形シリーズ回転式粘度計, 計測技術, **21** (2), 47-53
- Smith, R.E. (1982) Brookfield Viscometers for Determination of Low-Shear Viscosity and Levelling Behavior, *J. Coatings Technol.*, **54**, 21-29
- 山本和夫, 菅井裕子, 小野垣俊雄 (1982) 糊化過程における分級馬鈴薯澱粉糊液とそのゲルの物性, 澱粉科学, **29**, 277-286