グロビン-牛血清アルブミン混合物のゲル形成性

宮口右二*・矢口聡志*・堤 将和*

Gelling Characteristics of Porcine Globin and Bovine Serum Albumin Mixture

Yuji MIYAGUCHI*, Satoshi YAGUCHI* and Masakazu TSUTSUMI*

**School of Agriculture, Ibaraki University, 3-21-1 Chuo Ami-machi, Ibaraki 300-0393*

For the purpose of effective utilization of slaughtered animal blood proteins, the gelling properties of the mixture of porcine globin and bovine serum albumin (BSA) were investigated. 1) Gelation of globin required more than 70 mg/ml of protein, while the BSA and globin mixture formed a thermal-induced gel at a final protein concentration of 10 and 50 mg/ml, respectively. 2) When the globin-BSA mixture (total protein concentration of 90 mg/ml, weight ratio of 50/40) was heated, the gelation occurred over a wide pH range (pH 3-9). The gel of the mixture gave the highest breaking intension at pH 7.0, and its water- holding capacity was higher at pH 3 and 9 than at pH 7. 3) The gelation of globin was strongly prevented by the addition of more than 2.0% (w/v) of NaSCN, though the breaking intension of globin gel increased with an addition of 1.0% (w/v) of NaSCN. On the other hand, 2.5% (w/v) of NaSCN could not inhibit the gelation of BSA completely. 4) The breaking intension of the gel of globin-BSA mixture was also influenced by the addition of NaSCN. The breaking intension of the gel of the mixture (pH 7.0) increased by the addition of 1.0% (w/v) of NaSCN.

(Received Jul. 7, 2000 ; Accepted Oct. 26, 2000)

と畜血液の血球画分には主要なタンパク質であるヘモグロビンが豊富に含まれている。しかし、食品素材として利用した場合、ヘモグロビン特有のヘム色素のために、食品が赤黒く着色され、血液臭が付与されてしまう。そこで、脱ヘム後のアポタンパク質（グロビン）を利用する方法が種々考え出されたが、グロビン分子が変性し、水に対する溶解性が著しく低下する¹⁾。このように、グロビンでは他の食品タンパク質にはみられない性状を示すため、一般的な食材として普及できないのが実情である。著者らはこれまでグロビンの化学的処理による物性改善を試みてきた^{2)~4)}。しかしながら、タンパク質の修飾は安全性やコストの問題があり、実用化にはこれらの問題点を解決する必要がある。一方、血漿画分には多数のタンパク質が含まれている。この血漿タンパク質は、以前から優れたゲル形成性や乳化性を示すことが報告されている⁵⁾。実際、肉製品など食品加工の際、血漿タ

ンパク質は増量剤として多く利用されている⁶⁾。

食品中には何種類かのタンパク質が含まれ、大抵これらタンパク質が食品の物性を支配している。また、複数のタンパク質が相互作用を起こすと、各タンパク質単独の性状とは異なる特性を示すことがある。例えば、食肉タンパク質のゲル形成能はミオシンにあるとされているが、ミオシン単独では弾力性のないゲルが形成されてしまう⁷⁾。しかし、そこにアクチンが添加されるとアクチン-ミオシン複合体（アクトミオシン）が形成され、ソーセージやハムなどにみられる弾力性に富むゲルが形成される。また、小麦グルテンにはグリアジンとグルテニンの2種類のタンパク質が存在するが、グルテン特有のドウ形成能はグリアジンとグルテニンとの複合体としての性質を示したものである⁸⁾。このように、異種タンパク質間での複合体形成は、それぞれのタンパク質単独とは異なった性状を示す例がいくつかある。

* 茨城大学農学部 (〒 300-0393 茨城県阿見町中央 3-21-1)

本実験ではと畜血液タンパク質であるグロビンおよび血清アルブミンに着目し、両タンパク質共存下におけるゲル形成性について検討したところ、グロビンあるいは血清アルブミン単独ゲルとは異なる性状を示すことが今回明らかとなったので報告する。

実 験 方 法

1. 材 料

豚血液の血球画分は東日本屠畜血液センター（埼玉県越谷市）より入手した。グロビンの調製は TYBOR らの酸-アセトン法⁹⁾を一部改変した宮口らの方法²⁾により行った。すなわち、豚赤血球から得られたヘモグロビン溶液を 0.1 M-塩酸含有アセトンで処理し、得られた粗グロビン画分を 10% 飽和硫酸アンモニウムで塩析処理した後、水道水（Ca 濃度：19.6 mg/l）で流水透析（2 日間）した後、スプレードライヤー（パルビス GB-22 型、ヤマト科学）でグロビン粉末を得た。牛血清アルブミン（BSA）粉末（コーン V 画分、96% BSA 含有）はケミコンインターナショナル社より購入した。

2. 電気泳動分析

LAEMMLI の方法¹⁰⁾によりドデシル硫酸ナトリウム-ポリアクリルアミドゲル電気泳動（SDS-PAGE）を行った。分離ゲルの濃度は 15% とし、濃縮および分離ゲルを泳動中はそれぞれ 15 mA および 25 mA の定電流で行い、染色にはクマシブリアントブルー G-250 を用いた。また、分子量マーカーには LMW キット E（フェルマシア）を用いた。

3. ゲルの性状分析

(1) ゲルの調製

グロビンおよび BSA 粉末に水を加えて溶解し、0.1 M HCl または NaOH を用いて指定の pH になるように調整した。その後、水を加えてタンパク質濃度を調整し、グロビン-BSA 混合溶液を得た。本溶液を試験管（15 mmφ）またはゲル強度測定用管（24 mmφ×40 mm）に入れ、オートクレーブで加熱処理（90℃、15 分）し、室温（20℃）で 3 時間放置後、ゲルを得た。グロビン、BSA あるいは両タンパク質の混合物のゲル化に及ぼすチオシアン酸ナトリウム（NaSCN）の影響を測定する場合には、予め加熱ゲル化させる前に指定した量の NaSCN（終濃度で 0-2.5%, w/v）を添加後、同様に加熱-冷却してゲルを得た。なお、ゲル化は試験管を傾けたさい、加熱冷却後のタンパク質溶液が流れ出ないこと（流動性の有無）で評価した。

(2) ゲル透明度の測定

試験管中のゲルの透明度を分光光度計（光路長 15 mm、ミーフォート 518 型、タイテック）で測定した。結果は 700 nm における透過率（ T_{700} ）で示した。

(3) ゲル強度の測定

ゲル強度測定用ガラス管に得たゲルの強度を測定した。測定にはレオメーター（NRM2003J レオテック）を用い、データ解析にはレオプロッター（FR-801 レオテック）を用いた。測定条件は 5 mmφ のプランジャーを速度 2 cm/分でサンプルの高さ（20 mm）の 50% まで貫入させた。ゲル強度は演算値として得られた破断強度（g/cm²）で評価した。

(4) ゲル保水性の測定

(1) の方法で得られたゲル（9.0 g）を予め 0.5 ml の水を含ませておいたろ紙（No. 2, 90 mmφ）に包むようにして載せ、さらに、同ろ紙 2 枚を折りたたんで遠心管の底部に敷いた後、ろ紙に包んだゲルを遠心管に入れた。その後、低速で遠心分離（42×g, 2 分）し、ろ紙の重量を測定して遊離水分量を求め、ゲルに用いた水分量との割合から保水性を求めた。

実 験 結 果

1. グロビンおよび BSA の SDS-PAGE 分析

グロビンおよび BSA を SDS-PAGE 分析し、その泳動パターンを Fig. 1 に示す。グロビンでは分子量 15 k 付近に単一のバンドが認められた。また、BSA では分子量約 66 k に濃い単一のバンドのあることが確認された。

2. グロビン-BSA 混合物の加熱ゲル形成性

(1) ゲル形成性およびゲル透明度

Table 1 にグロビン-BSA 混合物のゲル形成性およびゲル透明度の結果を示す。グロビン単独（50 mg/ml）ではゲル化がみられなかったが、BSA を 10 mg/ml 相当量添加することでゲル化が観察された。さらに BSA の添加量を増加させると、混合物のゲル化する pH が広くなり、BSA を 40 mg/ml 相当量添加した（全タンパク質濃度が 90 mg/ml）場合、pH 3-9 の広 pH 域でゲル化した。さらに、混合物中の全タンパク質濃度を 90 mg/ml のまま、グロビン/BSA の重量比を種々の比率（60/30, 50/40, 30/60）に変えて検討したが、グロビン/BSA 比は 50/40 の時が最も広い pH 域でゲル化した。なお、各タンパク質の単独ゲルは、グロビンでは pH 2 に認められ、BSA では pH 4 および 5 でゲル化が観察された。

ゲル透明度については、グロビンあるいは BSA 単独ゲルよりもグロビンと BSA との混合ゲルの方が全体的に高くなる傾向を示した。また、低 pH ほど、ゲルの透

Fig. 1 SDS-PAGE patterns of porcine globin and BSA

M, Molecular weight marker [Pharmacia LMW Kit E, phosphorylase b (94k), bovine serum albumin (66k), ovalbumin (43k), carbonic anhydrase B (30k), trypsin inhibitor (20k), α -Lactalbumin (14.4k)]

The separating gel was composed of 15% (w/v) acrylamide in Tris/HCl buffer, pH 8.8.

G, Porcine globin ; BSA, Bovine serum albumin

明度は高い値を示した。本実験ではグロビン/BSA 重量比が 30/60, pH 3 のときの値 ($T_{700}=51\%$) が最も高かった。以後、実験では全タンパク質濃度を 90 mg/ml とし、混合ゲル中のグロビン/BSA の重量比を 50/40 とした。

(2) ゲルの強度と pH との関係

Table 2 にグロビン-BSA 混合物 (混合物と略す) のゲル強度に及ぼす pH の影響を示す。グロビン単独では 70 mg/ml 以上でゲルが得られ、グロビン (70 mg/ml) ゲル (pH 2.0) の破断強度は 18 g/cm² であった。また、BSA では 40 mg/ml 以上でゲルが得られ、pH 4 および 5 での BSA ゲルの破断強度はそれぞれ 14 g/cm² および 32 g/cm² であった。一方、混合物では pH 7 の時が著しく高いゲル強度を示した (破断強度で 118 g/cm²)。また、pH 4 においても混合物ゲルの破断強度は比較的高い値を示した (38 g/cm²)。

(3) 混合物ゲルの保水性

混合物ゲルの保水性の結果を Table 3 に示す。グロビン (90 mg/ml, pH 2) または BSA (40 mg/ml, pH 5) 単独ゲルの保水性はそれぞれ 77.8% および 47.2% であった。混合物ゲルでは pH 3 で 100.0% の高い保水性を示し、また、pH 9 でも 95% 以上の値を示したが、pH 7 では混合物ゲルの保水性は低かった。

(4) ゲル強度に及ぼす NaSCN の影響

グロビンまたは BSA 単独ゲルの強度に及ぼす NaSCN の影響を Fig. 2 に示す。グロビンでは NaSCN

Table 1 Gelation of globin-BSA mixture and the transparency of the gel

Protein (mg/ml)			Gelation (Transparency of gel, %)								
			pH								
			2	3	4	5	6	7	8	9	10
Globin : BSA	Total										
50 : 0	50		—	—	—	—	—	—	—	—	—
50 : 10	60		—	—	+(31)	—	—	—	—	—	—
50 : 15	65		—	—	+(45)	—	—	—	—	—	—
50 : 20	70		—	+(44)	+(43)	+(41)	—	—	—	—	—
50 : 25	75		—	+(46)	+(37)	+(7)	—	—	—	—	—
50 : 40	90		—	+(43)	+(27)	+(23)	+(11)	+(21)	+(10)	+(27)	—
60 : 30	90		—	+(31)	+(20)	+(9)	+(6)	+(22)	—	—	—
30 : 60	90		—	+(51)	+(44)	+(6)	+(14)	—	—	—	—
90 : 0	90		+(20)	—	—	—	—	—	—	—	—
0 : 90	90		—	—	+(17)	+(8)	—	—	—	—	—

—, Gels were not formed ; +, Gels were formed ; Transparency, Transparency of the gel was measured at 700 nm ; BSA, Bovine serum albumin

Table 2 Effect of pH on breaking intension of the gel of globin-BSA mixture

Protein (mg/ml)	Breaking intension (g/cm ²)							
	pH							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Globin (70)	18	—	—	—	—	—	—	—
Globin (90)	24	—	—	—	—	—	—	—
BSA (40)	—	—	14	32	—	—	—	—
Globin-BSA mixture	—	15	38	23	19	118	32	13

—, Gels were not formed; Globin-BSA mixture, Final protein concentrations of globin and BSA were 50 mg/ml and 40 mg/ml, respectively.

Table 3 Water-holding capacity of the gel of globin-BSA mixture

Gel (pH)	Water holding capacity (%)
Globin (2)	77.8
BSA (5)	47.2
Globin-BSA (3)	100.0
Globin-BSA (7)	64.2
Globin-BSA (9)	95.7

Globin, 90 mg/ml of globin; BSA, 40 mg/ml of BSA; Globin-BSA, Globin-BSA mixture (Final protein concentration of globin and BSA were 50 mg/ml and 40 mg/ml, respectively.)

の添加量の増加とともにゲル強度が高くなり、1.0% (w/v) 添加時のゲル強度は未添加区の値の約2倍であった。しかし、それ以上の NaSCN ではゲル強度が低下し、2.0% (w/v) 以上添加した場合、ゲル化が完全に阻害された。一方、BSA では NaSCN の添加量に応じてゲル強度が低下したが、2.5% (w/v) NaSCN を添加しても、ゲル化は完全に阻害されなかった。

また、混合物のゲル強度に及ぼす NaSCN の影響について検討したところ、pH 3 では NaSCN によってゲル強度の低下が若干認められた。一方、pH 5-9 では、NaSCN の添加により混合物のゲル強度は増大し、とくに pH 7 では高い値 (177 g/cm²) を示した (Fig. 3)。

考 察

と畜血液中のタンパク質でも血漿タンパク質については、その理化学的性状は以前から研究されており、豚または牛由来の血漿タンパク質はいずれも優れた乳化活性を示すこと¹³⁾、BSA は酸性域で優れたゲル形成性を示すことが報告されている⁵⁾。

一方、これまで食品タンパク質の加工特性を検討する場合、単離されたタンパク質の性状について研究する報告が多かった。しかし、実際の食品中では複数のタンパク質が混在し、タンパク質混合系での検討が今後必要である。例えば、大豆タンパク質中では、 β -コングリシニンとグリシニンとの比率により、それぞれ異なったテクスチャーを有するゲルが得られる¹⁴⁾。また、ホエー画分中の α -ラクトアルブミン単独は β -ラクトグロブリン単独よりもゲル形成性において劣るとされているが、両タンパク質を混合したゲルは β -ラクトグロブリン単独と同等の優れたゲル形成性を示すことが報告されている¹⁵⁾¹⁶⁾。と畜血液タンパク質では筋原繊維タンパク質に添加することで、モデルソーセージの物性の改善が認め

Fig. 2 Effect of NaSCN on the breaking intension of globin and BSA

Globin (●: 90 mg/ml, pH 2) and BSA (○: 40 mg/ml, pH 5) gels were prepared by heating at 90°C for 15 min and cooling at 20°C for 3 h.

Fig. 3 Effect of NaSCN on the breaking intensity of the globin-BSA mixture

Mixture, Globin and BSA mixture (Final concentration : 50 and 40 mg/ml, respectively), Mixture+NaSCN, The mixture was added to NaSCN at a final concentration of 1.0% (w/v).

Gels were prepared by heating at 90°C for 15 min and cooling at 20°C for 3 h.

られている¹⁷⁾。グロビンおよび血清アルブミンはいずれも血液由来のタンパク質であり、それぞれのタンパク質単独の加工特性についてはよく知られているが、両タンパク質の混合ゲルの性状に関してはこれまで報告がないことから、2, 3 検討を行った。

血球中のヘモグロビンは分子量約 65 k の球状タンパク質であるが、分子はサブユニット構造をもち、豚グロビンを構成する α 鎖および β 鎖の分子量はそれぞれ約 15 k および約 16 k である¹⁸⁾。一方、BSA は牛血漿中の主要なタンパク質で、分子量は 66k を示す¹⁹⁾。まず、グロビンおよび BSA を SDS-PAGE で分析し、その泳動パターンを観察したが、グロビンでは分子量 15 k 付近に濃いバンドが観察された (Fig. 1)。グロビンのバンドをよく観察すると 2 つのバンドが重なっていることが確認でき、これらは α 鎖および β 鎖の単量体のバンドであると考えられる。また、BSA では、分子量マーカーとして用いた BSA と同等の位置に濃いバンドがみられ、比較的純度の高い試料であることが確認された。また、分子量的にグロビンよりも BSA の方が 4 倍以上大きいタンパク質であることが電気泳動分析から確認された。

グロビンのゲル化は、強酸性下 (pH 2) で確認され、

BSA では弱酸性域 (pH 4 および 5) でゲル化が起こった。一方、グロビン-BSA 混合物のゲル形成性をタンパク質濃度 (50-90 mg/ml) および両タンパク質の重量比 (60/30, 50/40, 30/60) をそれぞれ変えて検討したところ、重量比 50/40 のグロビン-BSA 混合物 (モル比では約 5/1 に相当) が pH 3-9 においてゲル化した。また、この混合物ゲルの透明度は酸性またはアルカリ性付近で高かった (Table 1)。ゲルの透明度はタンパク質の性質と密接な関係がある。グロビンの等電点は pH 7 の中性付近にあり⁹⁾、BSA では pH 5 付近に等電点のあること²⁰⁾ が報告されている。したがって、混合物ゲルの透明度の低下はタンパク質の溶解性の低下によるものと考えられる。卵白アルブミンを用いた実験でも同様の報告があり、加熱後の卵白アルブミンの形態 (ゾル、凝集体、白濁または透明ゲル) は元の溶液の pH、イオン強度、タンパク質濃度の 3 つの要因に強く依存していた²¹⁾。また、混合物ゲルの保水性は中性域 (pH 7) で低かった (Table 3)。これもグロビンが等電点付近で凝集を起こし、水和力が低下したためと考えられ、ゲル透明度ともよく一致していた。

以上のように、グロビン-BSA 混合物ゲルの保水性および透明度はタンパク質の溶解性に影響されているものと思われた。しかし、混合物ゲルは、グロビンおよび BSA 単独ではゲル化しない pH 域 (中性-弱アルカリ性) でもゲルを形成し、破断強度は pH 4 および 7 で高い値を示した (Table 2)。ゲル化剤の混合によるゲルの物性改善またはゲル強度の増加にみられる相乗効果はこれまでも知られている²²⁾。また、タンパク質のゲル化はタンパク質分子が網目構造を形成することによるものであるが、さらに水を保持するための水和力も安定なゲルを形成する場合には重要である。すなわち、タンパク質の溶解性はゲル化と密接に関係している。恐らく、本混合物が広い pH 域でゲルを形成したのは、各 pH においてグロビンおよび BSA の両タンパク質の分子間で相互作用を起こし、とくにグロビンの凝集 (沈殿の形成) が抑制されたためと考えている。BSA にアルギン酸ナトリウム、ペクチンあるいはカルボキシメチルセルロース等の多糖類を添加した混合物の加熱ゲルは BSA 単独ゲルと異なる物性を示し、BSA の等電点より低い pH では、ゲル形成性が低下するが、等電点より高い pH では、優れたゲル形成性を示す²³⁾。したがって、BSA は他のゲル化剤と相互作用を起こし、またゲル化において pH の影響を非常に受けやすいことが推察された。

グロビンの加熱ゲルの破断強度はカオトロピックイオ

ンであるチオシアン酸イオンの影響を強く受け、2.0%以上の NaSCN はグロビンのゲル化を強く阻害した。一方、BSA では NaSCN の添加量に応じてゲル強度の低下が認められたが、ゲル化は阻害されなかった (Fig. 2)。グロビンは β 鎖に 1 分子当たりチオール基を 1 つしか有していない¹⁸⁾。したがってグロビンのゲル化は分子間の疎水的相互作用によるところが大きいと考えられる。BSA は 1 分子内に 17 のジスルフィド結合を有するタンパク質であるが、遊離チオール基は 1 分子当たり 1 つであるため¹⁹⁾、BSA の加熱ゲル化では SH-SS 交換反応よりもむしろ相対的な β -シート構造の増加に伴う分子間の水素結合の形成によるものと考えられている²⁴⁾。これらの知見を考慮すると、遊離チオール基をほとんど有していないグロビンと非還元状態にある BSA との混合物のゲル化に SH-SS 交換反応が関与したとは考えにくい。グロビン-BSA 混合物のゲル強度は NaSCN に依存しており、とくに pH 7 では NaSCN によりゲル強度の増加が認められた (Fig. 3)。これは、グロビン-BSA 混合物のゲル化は、タンパク質分子間の非共有的な相互作用 (疎水結合や水素結合など) によるものであることを示唆するもので、NaSCN の添加により混合物のゲル強度が改善されたのは、グロビンの疎水的凝集が抑制されたこと、タンパク質ゲルとして必要な水和力が増加したためと考えられる。また、データには示さなかったが、加熱ゲル形成能がないカゼインと BSA とを混合した場合、グロビン-BSA 混合物でみられた広 pH 域でのゲル化は観察されなかった。これはグロビン-BSA 混合物の網目構造の形成にグロビンが強く関与していることを支持している。

以上のように、グロビン-BSA 混合物ゲルはグロビンもしくは BSA 単独とは異なるゲル形成性を示した。とくにグロビンが食品として望ましい pH 域 (中性) ではゲル化しないため、食材として大きな問題であった。しかし、本結果で示したようにグロビンに適量の BSA を混合させることでゲル形成性が改善された。本方法では特別な化学的処理を行っていないため、食材としても十分に利用可能と考えられる。

一方、グロビンと BSA とを 5:1 のモル比で混合することで、高いゲル形成性を示すことが明らかとなったが、混合物のゲル形成機構については今回明らかにすることができなかった。これまでにグロビンは BSA および卵白アルブミンに対して保護コロイドとしての性質を示し、グロビンが添加されたアルブミン溶液を加熱しても熱凝固を起こしにくいことが報告されている²⁵⁾。著者

らもグロビンあるいはサクシニル化グロビンにアルブミンの熱凝固阻止能のあることを確認している²⁾。しかし、その作用機構は今のところ明らかになっていない。グロビンとアルブミンとの混合物のゲル形成性については、この点にも注目し、今後分子レベルでの両タンパク質の相互作用について調べていきたい。

要 約

と畜血液タンパク質の有効利用を目指し、グロビンに牛血清アルブミン (BSA) を添加したグロビン-BSA 混合物の加熱ゲル形成性について検討したところ、以下のような結果が得られた。

(1) グロビン (50 mg/ml) 単独溶液はゲル化しなかったが、10 mg/ml 相当の BSA を添加することでゲル化が観察された。また、グロビンおよび BSA をそれぞれ 50 mg/ml および 40 mg/ml 含む混合物の場合、広い pH 域 (pH 3-9) でゲル化が認められた。

(2) グロビン-BSA 混合物 (モル比で 5/1) ゲルは pH 7 で最も高い破断強度を示した。また、同混合物ゲルの保水性は pH 3 および 9 で高かった。

(3) グロビンでは 2.0% (w/v) 以上の NaSCN によってゲル化が強く阻害されたが、BSA では 2.5% (w/v) の NaSCN を添加してもゲル化は完全に阻害されなかった。

(4) グロビン-BSA 混合物のゲル強度は NaSCN の影響を受け、pH 7 では混合物に 1% (w/v) 相当の NaSCN を添加することで加熱ゲルの破断強度が高くなった。

文 献

- 1) 早川 茂: 食品と開発, 25, 26 (1989).
- 2) 宮口右二・境久美子・米倉正実・堤 将和: 日食工誌, 36, 720 (1989).
- 3) 馬場年生・宮口右二・永山精美・堤 将和: 食科工, 42, 667 (1985).
- 4) 宮口右二・堤 将和・永山精美: 日豚会誌, 32, 186 (1995).
- 5) 戸田義郎: ユーフードインダストリー, 29 (9), 15 (1987).
- 6) 佐藤 泰: 肉の科学, 28 (1), 17 (1987).
- 7) YASUI, T., ISHIOBORO, M. and SAMEJIMA, K.: *J. Food Biochem.*, 4, 61 (1980).
- 8) 国則登代: 食品の物性 第 1 集, 松本幸雄・山野善正 編 (食品資材研究会, 東京), p. 160 (1975).
- 9) TYBOR, P.T., DILL, C.W. and LANDMANN, W.A.: *J.*

- Food Sci.*, **40**, 155 (1975).
- 10) LAEMMLI, U.K. : *Nature*, **227**, 680 (1970).
- 11) BRADFORD, M.M. : *Anal. Biochem.*, **72**, 248 (1976).
- 12) CREAMER, L.K., ZOERB, H.F., OLSON, N.F. and RICHARDSON, T. : *J. Dairy Sci.*, **65**, 902 (1982).
- 13) 斎藤昌義・石橋恵美子・平 春枝 : 日食工誌, **37**, 805 (1990).
- 14) 星 祐二 : 大豆の科学, 山内文男・大久保一良 編 (朝倉書店, 東京), p. 175 (1992).
- 15) GEZIMATI, J., CREAMER, L.K. and SINGH, H. : *J. Agric. Food Chem.*, **45**, 1130 (1997).
- 16) HINES, M.E. and FOEGEDING, E.A. : *J. Agric. Food Chem.*, **41**, 341 (1993).
- 17) AUTIO, K. and MIETSCH, F. : *J. Food Sci.*, **55**, 1494 (1990).
- 18) BRAUNTIZER, G. and HOPPE-SEYLERZS, Z. : *Physiol. Chem.* **359**, 137 (1978).
- 19) KINSELLA, J.E. and WHITEHEAD, D.M. : *Adv. Food Nutr. Res.*, **33**, 343 (1989).
- 20) IMESON, A.P., LEDWARD, D.A. and MITCHELL, J.R. : *J. Sci. Fd. Agric.*, **28**, 661 (1977).
- 21) 土井悦四郎 : 日食工誌, **39**, 1163 (1992).
- 22) 仲濱信子 : 食品ハイドロコロイドの科学, 西成勝好・矢野俊正 編 (朝倉書店, 東京), p 256 (1990).
- 23) CAI, R. and ARNTFIELD, S.D. : *J. Food Sci.*, **62**, 1129 (1997).
- 24) CLARK, A.H., SAUNDERSON, D.H. and SUGGETT, A. : *Int. J. Pept. Protein Res.*, **17**, 353 (1981).
- 25) HAYAKAWA, S., OGAWA, T. and SATO, Y. : *J. Food Sci.*, **47**, 1415 (1982)
- (平成 12 年 7 月 7 日受付, 平成 12 年 10 月 26 日受理)
-