[澱粉科学 (*J. Jpn. Soc. Starch Sci.*) 第 33 卷 第 3 号 p. 183~190. (1986)]

大豆蛋白および油脂含量の比較的高い 澱粉ゲルのゲル強度†

小島隆寿*, 山浦 勲*, 熊谷哲男*

(昭和 61 年 3 月 24 日受理)

Gel Strength of Starch on the Addition of Soy Protein and Food Oil
(Effect of Food Components on Physical Properties of Starch. Part 4)

Takashi OJIMA, Isao YAMAURA and Tetsuo KUMAGAYA

*The Central Research Laboratory, Ajinomoto Co., Inc.
(1-1, Suzuki-cho, Kawasaki 211, Japan)*

Experiments were carried out to study the effect of the addition of isolated soybean protein on the physical properties of starch by measuring the amylogram viscosity and gel strength. The following results were obtained.

1) The amylogram viscosity and gel strength of potato starch were greatly decreased by the addition of isolated soybean protein. On the other hand, corn starch was not affected by the addition of soybean protein, the gel strength being increased.

2) The strength of soybean protein emulsion gels admixed with starch and cooked at 80°C or 120°C was increased, especially, the emulsion gel containing corn starch being more stable than that containing potato starch, on cooking at 120°C.

3) A soybean protein emulsion containing corn starch may be useful for processed foods cooked at high temperature.

前報¹⁾で澱粉ゲルの物性に及ぼす油脂の影響を調べた結果、馬鈴薯澱粉ゲルでは、油脂の添加に伴いゲル強度は低下するが、一方、コーンスターチゲルでは、油脂の限定的な添加によりゲル強度が 20~40 % 増加することを認めた。

本報では、基本的な食品素材である蛋白質のうち、大豆蛋白について澱粉との共存における粘性、ゲル特性の変化を調べた。各種澱粉と動植物性蛋白質との相互作用についての研究は、八木²⁾、山内³⁾、Osman⁴⁾などの総説がある。これらの研究では、おもに牛乳、カゼイン、卵蛋白など動物性蛋白を対象としている。最近、栄養面、物性面の改良のために、分離大豆蛋白が広く利用されている^{5,6)}。しかし、澱粉と分離大豆蛋白との関係につい

ての研究は少なく、高橋ら⁷⁾が報告しているにすぎない。しかも、畜肉加工食品や、水産加工食品などでは、高い量比で澱粉や分離大豆蛋白および油脂が使用される傾向にある。そこで、本研究では、澱粉含量 4~12 %、分離大豆蛋白の添加量が澱粉当り 10~100 % の系に着目して、各種澱粉の粘性、ゲル強度および低温保存の変化に及ぼす影響を調べた。さらに、分離大豆蛋白は油脂とともに乳化状態で使用する例も多いので、大豆油と水を分離大豆蛋白に混合して、得られた乳化物を含む澱粉ゲルについてもその物性を調べた。

その結果、馬鈴薯澱粉に対する分離大豆蛋白の影響は大きく、糊化、膨潤が抑制された。コーンスターチでは、その影響は少なく、分離大豆蛋白乳化物に添加した澱粉系は、120°C の高温加熱処理でもゲル強度は低下しないことが認められたのでここに報告する。

† 澱粉の物性に与える食品成分の影響 (第 4 報)

* 味の素株式会社中央研究所 (211 川崎市川崎区鈴木町 1-1)

実験方法

1. 試料

分離大豆蛋白は味の素(株)の商品名アジプロン S₂ を使用した。その組成は、蛋白質 87.6%, 水分 4.7%, 油分 0.1%, 灰分 3.8% (うち Na 1.16%, P 0.80%, K 0.12 % など), pH は 7.1, NSI (nitrogen solubility index: 水に対する窒素の溶解性) は 98, 澱粉は前報同様, コーンスターチ (味の素(株), 水分 12.8 %), および馬鈴薯澱粉 (ホクレン中斜里工場製, 水分 18.0 %) を使用した。油脂は大豆油 (味の素(株), 商品名: 大豆白絞油) を用いた。

2. ゲルの調製

2-1. 分離大豆蛋白添加澱粉ゲルの調製 澱粉濃度は 0.8 % CMC 溶液で 12 % にして, 分離大豆蛋白を澱粉当り 10~100 % 添加し, ミキサーにて 7 分攪拌混合した。次に前報の方法に準じ, 80°C, 30 分または 90°C, 30 分加熱処理し, 冷却後冷蔵庫内に 1 日保存しゲル化させ試料とした。

2-2. 澱粉-分離大豆蛋白-油脂乳化ゲルの調製 澱粉 5 部, 分離大豆蛋白 10 部, 大豆白絞油 10 部に水 40 部を加えサイレントカッターにて 15 分間攪拌混合して乳化し, 直径 3 cm の塩化ビニリデン製ケーシングに分注した。80°C, 30 分あるいは 120°C, 20 分加熱処理後, 冷蔵庫に 1 日から 30 日間保存し, 乳化ゲル試料とした。

また, 比較のため, 分離大豆蛋白, 馬鈴薯澱粉およびコーンスターチの単独ゲルは 30 % 濃度とした。分離大豆蛋白の吸水力を 3 倍と仮定したとき⁸⁾, ゲルを構成する連続相部分の実質濃度がそれぞれ 30 % と推定されるためである。乳化物組成比は, 分離大豆蛋白がもっとも乳化化しやすく, 安定なゲルを形成する領域から選んだ⁹⁾。

3. 測定方法

3-1. アミログラフイー 馬鈴薯澱粉およびコーンスターチの澱粉濃度は 4 % または 6 % とし, 分離大豆蛋白を澱粉当り 10~100 % 添加して常法どおり 30°C より毎分 1.5°C ずつ昇温し, 95°C, 10 分保持後, 50°C まで冷却してアミログラフイーの測定をおこなった。分離大豆蛋白単独の場合は, 13 % 濃度に調製し, 90°C まで昇温し 10 分保持後, 50°C まで冷却した。90°C 以上の加熱では発泡が起り測定が困難になるためである。

3-2. ゲル強度 前報¹⁾ に準じレオメーターにてゲル強度を測定した。

3-3. 顕微鏡観察 前報¹⁾ に準じオリンパス製顕微鏡にて観察した。

結果と考察

1. 大豆蛋白添加澱粉懸濁液のアミログラム解析

馬鈴薯澱粉へ分離大豆蛋白を 10~100 % 添加したときのアミログラムを図 1 に示した。分離大豆蛋白の添加量の増加に伴い, 粘度上昇開始温度は高くなり, 最高粘度

図 1. 分離大豆蛋白添加馬鈴薯澱粉のアミログラム

—— 対照, 分離大豆蛋白無添加 (澱粉濃度 4 %), —○— 分離大豆蛋白対澱粉当り 10 % 添加 (澱粉濃度 4 %), —×— 分離大豆蛋白対澱粉当り 50 % 添加 (澱粉濃度 4 %), —▲— 分離大豆蛋白対澱粉当り 100 % 添加 (澱粉濃度 4 %), —●— 分離大豆蛋白対澱粉当り 100 % 添加 (澱粉濃度 6 %), 分離大豆蛋白単独 (濃度 13 %).

図 2. 分離大豆蛋白添加コーンスターチのアミログラム

澱粉濃度 4 %.

—— 分離大豆蛋白無添加, —○— 分離大豆蛋白澱粉量当り 10 % 添加,
—×— 分離大豆蛋白澱粉量当り 50 % 添加, —▲— 分離大豆蛋白澱粉量当り
100 % 添加.

図 3. 澱粉ゲルのゲル強度に及ぼす分離大豆蛋白の影響

—○— 80°C, 30 分加熱処理, コーンスターチ,
—●— 80°C, 30 分加熱処理, 馬鈴薯澱粉,
- -○- - 90°C, 30 分加熱処理, コーンスターチ,
- -●- - 90°C, 30 分加熱処理, 馬鈴薯澱粉.

は順次低下した. 分離大豆蛋白が対澱粉 100 % 添加した系では, 粘度の上昇はみられず糊化, 膨潤が抑制された. しかし, 澱粉濃度が 6 % の場合では, 糊化, 膨潤の傾向が認められ, かつ, 冷却粘度は上昇しゲル化傾向を示した.

コーンスターチに分離大豆蛋白を添加したときのアミログラムを図 2 に示した.

分離大豆蛋白の添加量の増加に伴い粘度上昇開始温度は徐々に低下した. また, 最高粘度と 50°C 冷却粘度はゆるやかに低下する傾向を示した.

以上のことから, 馬鈴薯澱粉では, 分離大豆蛋白の添加により, 糊化, 膨潤が遅れるが, コーンスターチでは, その影響が比較的に小さく, 徐々に遅れる傾向を示した.

2. 大豆蛋白含量の高い澱粉ゲルのゲル強度

分離大豆蛋白の澱粉ゲルに及ぼす影響について, レオメーターによりゲル強度を測定した結果を図 3 に示した.

80°C 加熱処理では, 分離大豆蛋白の添加量の増加に伴いコーンスターチのゲル強度はほぼ比例して上昇した. 一方, 馬鈴薯澱粉では, 分離大豆蛋白の添加量が 10~50 % の範囲でゲル強度は対照に比較し低下したが, 50 % を超えると増加に転じ 100 % 添加では対照の値まで回復した. これは, 大きな膨潤特性をもつ馬鈴薯澱粉では, 澱粉粒の膨潤や溶解が分離大豆蛋白の水和によって阻害され, ゲルの形成が弱くなると考えられる. 高橋ら⁷⁾も同様の膨潤抑制を認めている. また, 分離大豆蛋白の添加量が 50 % を超えると, 分離大豆蛋白固有のゲル形成 (12 % 濃度のゲル強度: 130 g/cm²) によりゲル強度は増加するものと考えられる. しかし, 比較的小さい膨潤特性をもつコーンスターチでは, 膨潤抑制に対する影響が小さく, 結果的にゲル強度が増大したものと考えられる. 90°C 加熱処理では, 両澱粉ともゲル強度は分離大豆蛋白の添加量に従い上昇した. これは, 90°C 加熱処理に

図 4. 澱粉添加分離大豆蛋白乳化ゲルの加熱処理とゲル強度

□ 1 日後のゲル強度, ■ 30 日後のゲル強度.

より、澱粉の膨潤糊化が 80°C 加熱処理時よりも進むため両澱粉の差が少なくなったものと推定される。

以上のように、分離大豆蛋白添加の影響は澱粉の種類によって異なることが認められた。

3. 大豆蛋白および油脂含量の比較的高い澱粉ゲルのゲル強度

実際の食品のなかには、前項の澱粉と分離大豆蛋白のゲルに加え、油脂を含むモデルがより適合する場合も多い。分離大豆蛋白はコムギグルテンに比較し油脂となじみやすく乳化力が高い¹⁰⁾。また、分離大豆蛋白、油脂および水を混合した乳化物は、分離大豆蛋白単独ゲルより白色度が高い¹¹⁾。さらに食品に添加したとき、他の素材と混合、分散しやすいなどの特性をもっている。しかし、加熱処理後の乳化ゲル自体は、ソフトでゲル強度は非常に低い。この点澱粉を添加した系では、異なる物性を示す可能性がある。そこで、大豆蛋白および油脂含量の比較的高い澱粉ゲル（乳化ゲル）の物性を検討した。

3-1. 乳化ゲルのゲル強度 澱粉、分離大豆蛋白、大豆油および水の組成比が 5 : 10 : 10 : 40 である混合乳化物を 80°C、30 分または、120°C、20 分加熱処理したゲルを 1 日から 30 日間低温で保存し、ゲル強度を測定した結果を図 4 に示した。

1 日後の馬鈴薯澱粉またはコーンスターチを添加した乳化ゲルの強度は、対照の澱粉無添加ゲルに比較して 2～3 倍に増加した。澱粉の添加により分離大豆蛋白乳

化ゲルは補強されることがわかった。また、馬鈴薯澱粉添加乳化ゲルで、120°C 加熱処理のゲル強度は、80°C 加熱処理ゲルの 2/3 に低下したが、コーンスターチ添加乳化ゲルでは、高温の 120°C 処理ゲルは 80°C 処理よりもゲル強度で 100 g/cm² ほど高い値を示した¹²⁾。乳化ゲルの澱粉濃度は、ゲル連続相の実質濃度として考えると、前述のように 30 % 程度になるので、ここで改めて分離大豆蛋白、馬鈴薯澱粉およびコーンスターチそれぞれ 30 % 濃度の単独懸濁液を 80°C、または 120°C で加熱処理してゲルを調製し、1 日および 30 日後のゲル強度を測定した。その結果は図 5 に示すように、分離大豆蛋白と馬鈴薯澱粉ゲルでは、120°C 加熱処理のゲル強度は、80°C 処理ゲルの約 1/2 に低下した。しかし、コーンスターチでは、120°C 処理ゲルの強度は低下せず、80°C 処理よりも高い値を示した。したがって、2 種の澱粉添加乳化ゲルの強度が加熱処理温度によって異なるのは、主としてゲルに含まれる澱粉の加熱温度に対する物性の差異によるものと考えられる。この原因について、2 種の澱粉を種々の濃度の懸濁液とし、80°C、および 120°C で加熱してゲルを調製し、その澱粉濃度とゲル強度との関係を調べた。その結果を図 6、図 7 に示した。コーンスターチでは、25 % 以上の澱粉濃度になると、120°C 加熱処理ゲルの強度は 80°C 加熱処理ゲルより高くなった。しかし、馬鈴薯澱粉では、35 % 以上の濃度にならないと 120°C 加熱処理ゲルの強度は 80°C 加熱処理ゲルより高くならな

図 6. コーンスターチ濃度とゲル強度

—○— 80°C, 30 分加熱処理,
 ---▲--- 120°C, 20 分加熱処理.

図 7. 馬鈴薯澱粉濃度とゲル強度

—○— 80°C, 30 分加熱処理,
 ---▲--- 120°C, 30 分加熱処理.

写真 1. 馬鈴薯澱粉単独ゲル

30 %澱粉濃度, 80°C, 30 分加熱処理.

写真 2. 馬鈴薯澱粉単独ゲル

30 %澱粉濃度, 120°C, 20 分加熱処理.

写真 3. 乳化ゲル中での馬鈴薯澱粉

80°C, 30 分加熱処理.

乳化組成比 澱粉：分離大豆蛋白：大豆油：水
=5：10：10：40.

写真 4. 乳化ゲル中での馬鈴薯澱粉

120°C, 20 分加熱処理.

乳化組成比 澱粉：分離大豆蛋白：大豆油：水
=5：10：10：40.

った.

3-2. 乳化ゲル中澱粉の顕微鏡観察 乳化物を 80°C または 120°C で加熱処理したとき, 澱粉粒の変化について顕微鏡観察した結果を写真 1~8 に示した.

馬鈴薯澱粉では, 澱粉-水系に比較して乳化ゲル中の澱粉粒は, 膨潤して崩壊せずに残っており膨潤が抑制されていた (80°C 加熱処理). 一方, 120°C 処理では, 大部分の粒は崩れ分散していた. コーンスターチでは, 澱粉-水系および澱粉-乳化系とも大きな変化はみられなかった. 120°C 処理では, 乳化系中の澱粉粒は膨潤したまま崩壊せずに残っていた. これら残存膨潤澱粉粒がゲルの充填材として働き, ゲルの補強をするものと考えられる.

3-3. 乳化ゲルの保存性 澱粉を添加した分離大豆蛋白乳化ゲルを 5°C 冷蔵庫に 1 日から 30 日間保存したとき, ゲル強度の変化を図 4 に示した. 乳化ゲルの保存変化は澱粉単独ゲル (図 5 参照) に比較し非常に少なか

った. このような澱粉混合大豆蛋白乳化ゲルは, レトルト食品などの高温加熱処理食品の素材として使用できると考えられる.

要 約

食品素材である分離大豆蛋白と澱粉が共存して加熱糊化したときの物性変化を調べた. さらに, 分離大豆蛋白, 大豆油, 水の乳化ゲルに澱粉を添加して加熱処理したゲルについてもその物性を調べたことがわかった.

1) 4 %澱粉濃度のアミログラムでは, 馬鈴薯澱粉は, 分離大豆蛋白の添加により, 糊化, 膨潤が抑制され粘度は低下した. 一方, コーンスターチでは, その影響が少なかった.

2) 澱粉濃度 12 % の懸濁液を 80°C で加熱して調製し

写真 5. コーンスターチ単独ゲル
30%澱粉濃度, 80°C, 30分加熱処理.

写真 6. コーンスターチ単独ゲル
30%澱粉濃度, 120°C, 20分加熱処理.

写真 7. 乳化ゲル中でのコーンスターチ
80°C, 30分加熱処理.
乳化組成比 澱粉:分離大豆蛋白:大豆油:水
=5:10:10:40.

写真 8. 乳化ゲル中でのコーンスターチ
120°C, 20分加熱処理.
乳化組成比 澱粉:分離大豆蛋白:大豆油:水
=5:10:10:40.

たゲルでは, 分離大豆蛋白の限定的添加により, 馬鈴薯澱粉のゲル強度は低下したが, コーンスターチでは添加量とともに増加した. しかし, 90°C 加熱処理では両澱粉とも同様な傾向で分離大豆蛋白添加に伴いゲル強度は増加した.

3) 分離大豆蛋白, 大豆油, 水から構成した乳化物中に澱粉を添加した系(澱粉濃度約30%)では, 澱粉は乳化ゲルの強度を補強することが認められた. また, コーンスターチ添加乳化ゲルでは, 80°C 加熱処理よりも120°C 加熱処理ゲルの強度は約10%高い値を示した.

4) コーンスターチ添加乳化ゲルの120°C 加熱処理ゲルの強度が高くなる現象を調べたところ, コーンスターチ単独の濃度とゲル強度の関係から, 澱粉濃度が25%以上になると, 120°C 加熱処理ゲルの強度は80°C 加熱処理ゲルよりも高くなることがわかった.

また, 顕微鏡観察より, 30%濃度のコーンスターチ単独ゲルおよび乳化ゲルとも, 澱粉粒は120°C 処理でも膨

潤したまま崩壊せずに残っていた. 以上のことから, 糊化, 膨潤の遅れたコーンスターチが充填材として働き, ゲルを補強するものと推定される. この特性は, レトルト食品などの素材として利用しうる可能性を示唆している.

本報告を終るに当たりご校閲をいただいた大阪市立大学教授不破英次先生, 当社中央研究所鈴木博久博士, および江口祝主任研究員に厚く感謝するとともに, 実験にご協力をいただいた当社中央研究所小島行雄, 小沢敏之の諸氏に謝意を表します.

文 献

- 1) 小島隆寿: 澱粉科学, 33, 177 (1986).

- 2) 八木一文:「食品成分の相互作用」, 並木満夫, 松下雪郎編, 講談社, 東京, p. 80 (1980).
- 3) 山内文男: 澱粉科学, **28**, 33 (1981).
- 4) E.M. OSMAN: Food Theory and Application, John Wiley and Sons Inc., London, p. 193 (1972).
- 5) 小島隆寿: 油脂, **31**, 57 (1978).
- 6) 渡辺篤二: 油化学, **26**, 8 (1977).
- 7) 高橋節子, 小林理恵子, 渡辺篤二, 貝沼圭二: 日本食品工業学会誌, **30**, 276 (1983).
- 8) 小幡静雄: 食品と科学, 秋期増刊, 155 (1980).
- 9) 味の素(株)技術資料: 大豆蛋白ハンドブック, p. 53 (1978).
- 10) 青木 宏, 長野宏子: 日本食品工業学会誌, **22**, 12 (1975).
- 11) 吉田良之助, 足立好司: 食品と科学, **12**, 82 (1976).
- 12) 小島隆寿, 山浦 勲, 熊谷哲男: 日特願 昭 55-40013 (1980).