

大豆たん白質・デンプン複合体の組み立てと その調味素材としての利用に関するパイロット・スタディ

大石恭子^{*1}・今井悦子²

¹和洋女子大学家政学群 ²聖徳大学人間栄養学部

Fabrication of SPI-Starch Complexes for Use as Ingredients — A Pilot Cooking Study

Kyoko OHISHI^{*1} and Etsuko IMAI²

¹Department of Life and Ecology, School of Human Ecology,
Wayo Women's University, Ichikawa 272-8533

²Department of Human Nutrition, Faculty of Human Nutrition,
Seitoku University, Matsudo 271-8555

ABSTRACT

An SPI gel with no starch and SPI-starch (potato) complexes fabricated by substitution of part of the SPI with starch were prepared. When each preparation was heated in 10% sucrose, the SPI gel swelled with decreases in hardness and cohesiveness, whereas the fabricated gels showed no such changes. Also, heating of the preparations in 1% NaCl caused no appreciable physical changes. Heating in an "umami" stock (glutamate solution) containing a higher concentration of NaCl gave the result that the SPI gel shrank with an increase in hardness, while the physical properties of the fabricated gels remained constant. As to the gels seasoned with NaCl, compared to the SPI gel the fabricated gels distinctly reduced in hardness and cohesiveness without changing to physical properties during heating. The seasonings went into and came out from the fabricated gels more slowly than with the SPI gel. This may reflect the effect of some three-dimensional SPI-starch complex structure. Thus, our research in this pilot study suggests that the fabricated gel we constructed will have practical use in food processing and/or cooking at home. *Soy Protein Research, Japan* **16**, 119-126, 2013.

Key words : starch, texture, hardness, cohesiveness, cooking

*〒272-8533 千葉県市川市国府台2-3-1

これまで著者ら¹⁾の研究により、SPIに異種デンプンを混合してゲルを調製すると、条件次第で極めて特徴ある硬さ、粘弾性、付着性、凝集性を示す、SPI・デンプン複合体が形成されることを見出した。優良なたん白質源であるSPIにデンプンを混合させることにより、消費者のニーズに合わせた多様な物性を有するゲルを調製することが可能である。

過去においてSPIを調理素材として用いた例として、クッキー²⁾やパン³⁾、プラマングェ⁴⁾への添加は報告されているが、SPIおよびデンプンを含むSPI・デンプン混合ゲルを食材として利用した報告はない。

そこで本研究はSPIおよびSPI・デンプン混合ゲルの調理特性を調べ、ゲルの加熱に伴う物性変化や調味成分との相互作用について明らかにし、ゲル食品を調理で利活用するための基礎データを得ることを目的とした。

方 法

材料

材料には、分離大豆たん白質 (SPI, 不二製油株式会社)、ジャガイモデンプン (試薬, 関東化学株式会社)、スクロース (試薬特級, 和光純薬株式会社)、塩化ナトリウム (特級, 和光純薬株式会社)、醤油 (特選丸大豆しょうゆ, キッコーマン食品株式会社)、みりん (本みりん, 流山キッコーマン株式会社)、風味調味料 (ほんだし, 味の素株式会社) を用いた。煮汁は、醤油: みりん: だし汁を体積比で1:1:8に調整したものとした。なおだし汁は、脱イオン水に風味調味料を0.66% (w/w) で溶解させて得た。煮汁の塩分濃度は1.5%、pHは5.0であった。

ゲル試料の調製

フードプロセッサー (N-K58, Panasonic) のガラス容器に、冷却(5℃)脱イオン水(77.5%)を入れ、SPI(7.5, 15, 22.5%)を加えて20秒間攪拌後、材料を集めてさらに20秒間攪拌した。そこにデンプンを15, 7.5, 0%となるように加えて20秒間攪拌し、材料を集めた。調味料を添加する場合は、この時点でスクロースおよび塩化ナトリウムを加え、攪拌および寄せ集めの操作をさらに3回繰り返し、合計2分間攪拌した。脱イオン水、SPI、およびデンプンの総量は150 gとし(調味料無添加ゲルと称する)、調味料添加の場合は150 gに対してスクロースは5%、塩化ナトリウムは1%になるように添加した(調味料添加ゲルと称する)。

攪拌物を真空調理用袋に入れ、自動真空装置(V-307G-2型, 株式会社TOSEI)を用いて脱気、密封を行った。真空度は99.9%、真空時間は60秒間とした。

スチームコンベクションオーブン(SSC-10SC, 株式会社マルゼン)を用いて90℃で30分間加熱し、袋ごと室温で一晩放置し、翌日袋から取り出し1 cm角に成形したものを測定用の試料とした。

調味料無添加ゲルの調味液での加熱およびゲル中の調味成分の測定

脱イオン水、または各種調味液50 gが入ったビーカーを80℃の恒温槽に入れて予備加温した。この中に1 cm角の調味料無添加ゲルを5個入れ、10, 20, 40分間加熱した。調味液には10%スクロース溶液、1%塩化ナトリウム溶液、煮汁を用いた。加熱終了後はステンレス製のざるを利用してゲルと溶液に分け、ゲルはペーパータオルの上に置き、表面の水分を軽く吸い取った。

このゲルに、5倍の重量の脱イオン水を加え、ホモジナイザー(ED-12, 日本精機株式会社)を用いて10,000 rpmで1分間ホモジナイズした。濾紙(定性濾紙No.2, 東洋濾紙株式会社)および漏斗を用いてホモジネートから濾液を得て、濾液中の塩分およびスクロース濃度を測定した。

調味料添加ゲルの脱イオン水中での加熱およびゲルからの溶出成分の測定

脱イオン水50 gが入ったビーカーを80℃の恒温槽に入れて予備加温した。この中に1 cm角の調味料添加ゲルを5個入れ、10, 20, 40分間加熱した。加熱後、溶液中の塩分およびスクロース濃度を測定し、ゲルからの調味成分の溶出率を求めた。

ゲルの重量測定

加熱前後のゲルの重量を測定し、加熱前の重量に対する加熱後の重量比を求めた。

物性測定

1 cm角に成型したゲルをそのまま、あるいは加熱後、テクスチャーアナライザー(TA.XTplus, 英弘精機株式会社)を用いてテクスチャー試験を行った。プランジャーは直径3 cmの円柱形を用い、ロードセルは5 kg、圧縮速度は1 mm/sec、歪率は70%とした。試料台にゲルを1個置いて測定し、それを10回繰り返した。解析ソフト(Texture 32 Exponent, 英弘精機株式会社)を用いて、試料の硬さ、凝集性、付着性を求めた。

塩分およびスクロース濃度の測定

塩分濃度は塩分計(ES-421, 株式会社アタゴ)を用いて測定した。スクロース量は測定キット(F-キット, 株式会社J. K. インターナショナル)を用いて定量し、スクロース濃度を算出した。

統計処理

ゲルの重量測定および物性測定は3回繰り返した。データの解析は、SPSS 16.0J for Windowsを用いて、

Tukey多重比較検定を行い、 $p<0.05$ のものを統計的に有意とした。

結 果

始めに調味料無添加系において、22.5%SPIゲル（対照ゲルと称する）、およびSPIの1/3をデンプンに置換した15%SPI・7.5%デンプン混合ゲル（1/3置換ゲルと称する）、さらにSPIの2/3をデンプンに置換した7.5%SPI・15%デンプン混合ゲル（2/3置換ゲルと称する）を調製し、デンプンの配合がゲルの物性に与える影響について調べた。さらにこれらのゲルを調味液で加熱し、加熱に伴う重量および物性変化を調べ、調味成分のゲルへの浸透量を測定した。次に、あらかじめ調味成分を含んだ調味料添加ゲルを用いて脱イオン水中で加熱を行い、重量および物性変化、ゲルからの調味成分の溶出量について調べた。

1. デンプンの配合割合と物性との関係

デンプンとSPIの配合の違いがゲルの物性に与える影響を調べた。結果をFig. 1に示す。ゲルの硬さはデンプンの配合率の増加に伴い減少した。凝集性においては、1/3置換ゲルは対照ゲルと同じであったが、2/3置換ゲルはこれらに比べて著しく低下した。付着性には

関してはデンプン配合率が高い2/3置換ゲルが最も高い付着性を示した。しかしいずれの試料も付着性は極めて小さい値であったため、本実験においては、これ以降は硬さおよび凝集性の値に注目した。

2. 調味液加熱における調味料無添加ゲルの調理特性

脱イオン水、10%スクロース溶液、1%塩化ナトリウム溶液、煮汁の4種類の液で加熱したゲルの重量変化を調べた。Fig. 2に示すように、水およびスクロース溶液で対照ゲルを加熱すると、重量が著しく増加し、デンプンへの置換量が増加するに従い、加熱に伴う重量増加は抑制された。一方で、塩化ナトリウム溶液および煮汁で加熱したゲルは重量変化が極めて小さく、煮汁加熱では対照ゲルは逆に減少傾向であった。

ゲルを調味液で加熱した際の物性変化をFig. 3に示す。水およびスクロース溶液加熱においては、対照ゲルは加熱に伴い硬さおよび凝集性が著しく低下した。デンプンへの置換量が増加するほどその低下傾向が抑制され、2/3置換ゲルではほとんど変化がなかった。塩化ナトリウム溶液加熱ではいずれのゲルにおいても、硬さおよび凝集性にほとんど変化が見られなかった。煮汁加熱においては、対照ゲルの硬さは加熱に伴いやや増加し、2/3置換ゲルは経時的な物性変化が最も少ないゲルであった。

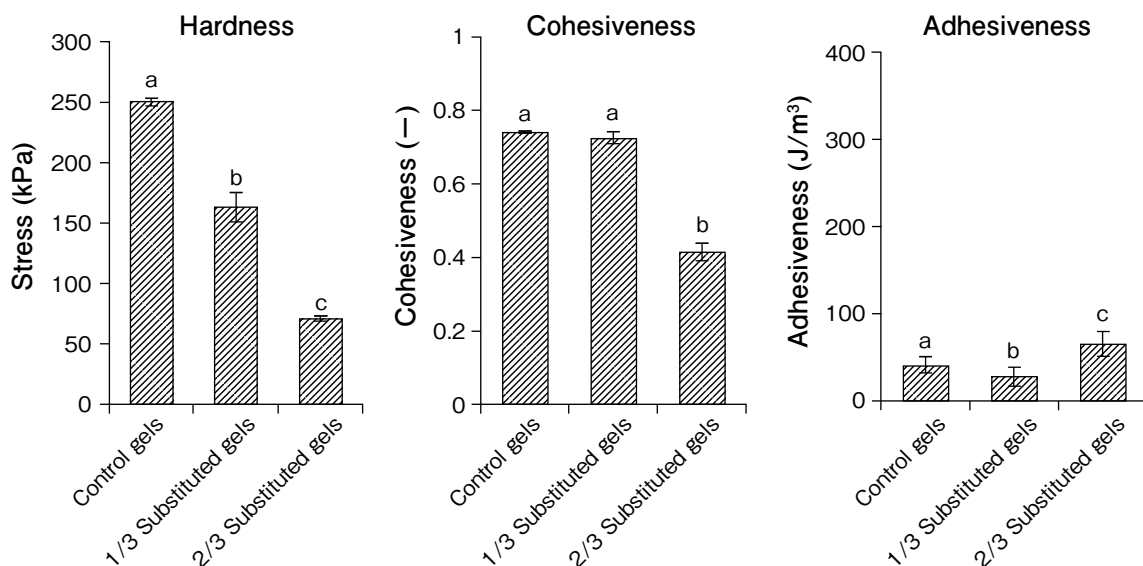


Fig. 1. The textural properties of gels with different combination ratios of SPI and potato starch. The control gels were 22.5% SPI. The fabricated gels with 15% SPI and 7.5% starch were labelled '1/3 Substituted gels'. The gels with 7.5% SPI and 15% starch were labelled '2/3 Substituted gels'. Each gel was cut into cubes of 1 cm³ and their textural properties were analyzed. The same letters are not significantly different ($p<0.05$).

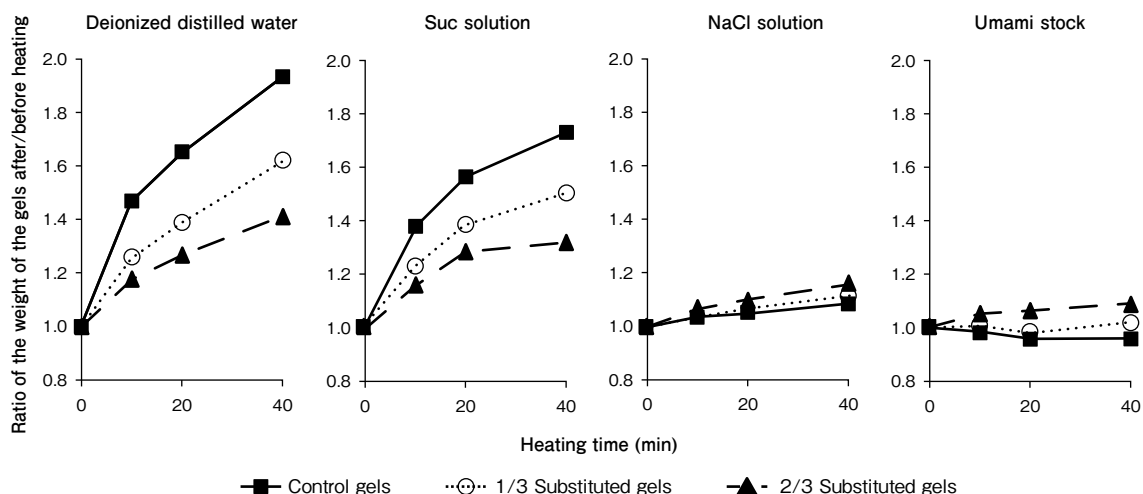
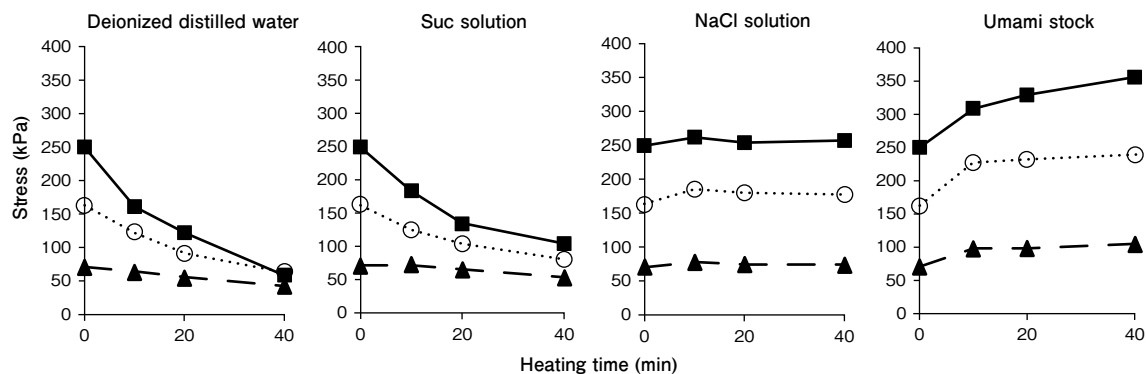


Fig. 2. Changes in weight of the gels during heating in the cooking solutions. The gels cut into cubes were heated in deionized distilled water, 10% sucrose solution, 1% NaCl solution, or umami stock at 80°C for predetermined time. The gels were weighed before and after heating, and the ratios of the weight were calculated.

A. Hardness



B. Cohesiveness

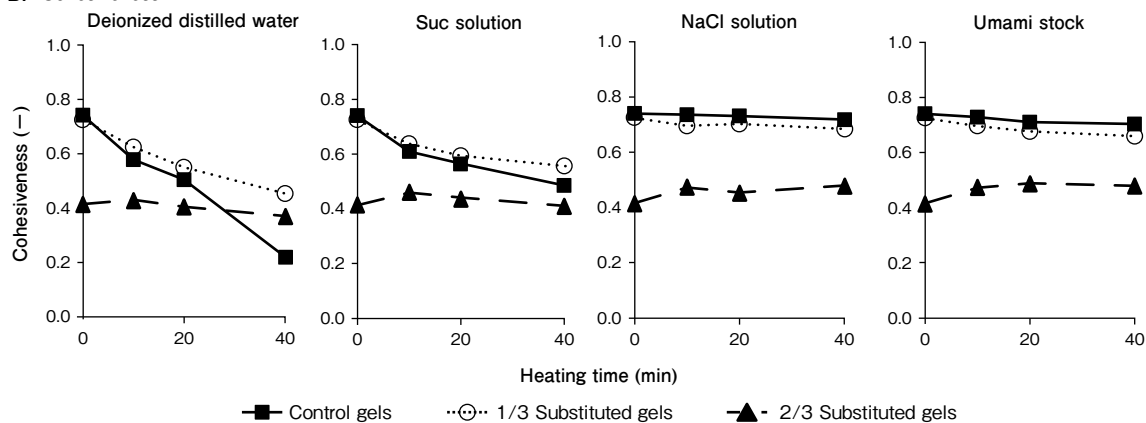


Fig. 3. Changes in the textural properties of the gels during heating in each solution.

塩化ナトリウム溶液およびスクロース溶液で加熱した際のゲルへの調味成分の浸透量を調べた。Fig. 4に示すように、スクロース溶液加熱では対照ゲルよりも置換ゲルの方がスクロースの浸透が遅れた。塩化ナトリウム溶液加熱では、SPI濃度が高いゲルほど加熱前のゲルの塩分濃度が高かったが、加熱開始10分後には3種類のゲル間でほとんど違いが見られなくなった。

3. ゲルの物性に与える各種調味料添加の影響

味付きのゲルを調理で利用することを想定し、スクロースおよび塩化ナトリウムを添加したゲルの物性について調べた。Fig. 5に示すように、調味料無添加の場合、対照ゲルに比べると置換ゲルは硬さが低かったが、塩化ナトリウムを添加するとその差が増加した。凝集性においても、無添加およびスクロース添加では対照ゲル、置換ゲル間に有意な差は無かったが、塩化ナトリウムを添加すると置換ゲルは対照ゲルよりも低下した。

4. 調味料添加ゲルの加熱特性

加熱に伴うゲルの重量変化を調べた結果をFig. 6に示す。スクロース添加ゲルの重量変化は、無添加のそれに類似しており、これらに比べると塩化ナトリウム添加ゲルの変化量は小さかった。また、無添加、スクロース添加、塩化ナトリウム添加のいずれも、1/3置換ゲルの方が対照ゲルよりも加熱に伴う重量の増加が抑制された。

物性変化においても、Fig. 7に示すようにスクロー

ス添加および塩化ナトリウム添加は、無添加ゲルと同様に、対照ゲルに比べると1/3置換ゲルの方が加熱に伴う硬さおよび凝集性の変化が小さかった。中でも、塩化ナトリウムを添加した1/3置換ゲルには、物性変化がほとんど認められなかった。

加熱中のゲルからの調味成分の溶出では、Fig. 8に示すように、スクロース添加ゲルにおいては対照ゲル、1/3置換ゲル間に違いは認められず、溶出率は加熱40分後において約40%であった。一方塩化ナトリウム添加ゲルにおいては溶出率は100%に近く、その速度は対照ゲルに比べると1/3置換ゲルの方が遅かった。

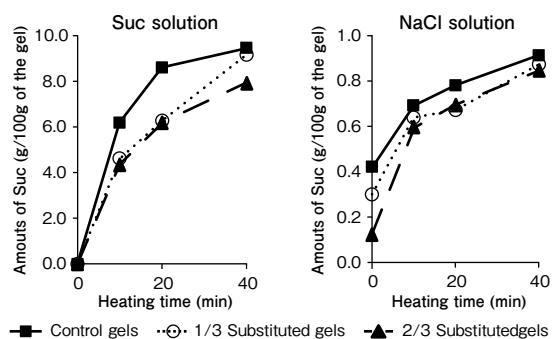


Fig. 4. Changes in the amount of seasoning infiltrated into the gels during heating at 80°C. After heating of the cube cut-gels in each solution, gels were homogenized with deionized distilled water. After filtration of the homogenate, the amounts of sucrose or NaCl in the filtrate were measured.

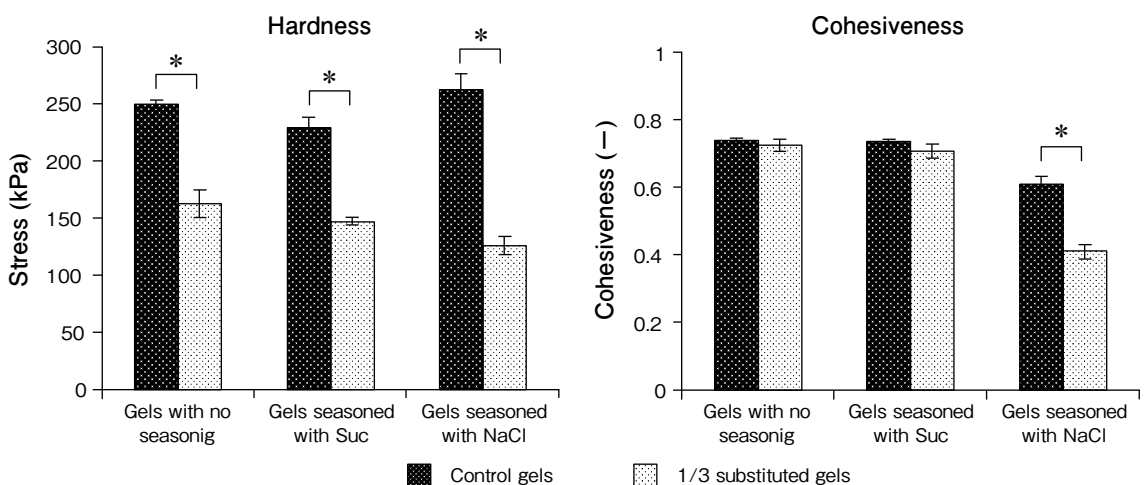


Fig. 5. The effect of seasoning on the textural properties of the gels. The control gels or 1/3 substituted gels seasoned with 5% sucrose or 1% NaCl were prepared. The textural values of the gels with no seasoning were used again as illustrated in Fig. 1. *, $p < 0.05$.

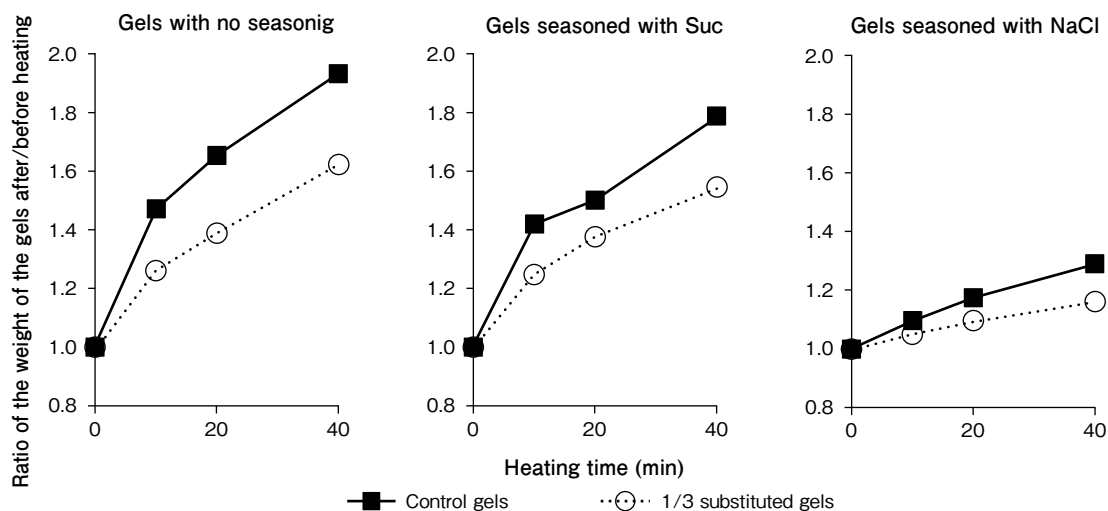


Fig. 6. Changes in weight of the seasoning gels during heating in the deionized distilled water at 80°C. The profiles of the gels with no seasoning were used again as illustrated in Fig. 2.

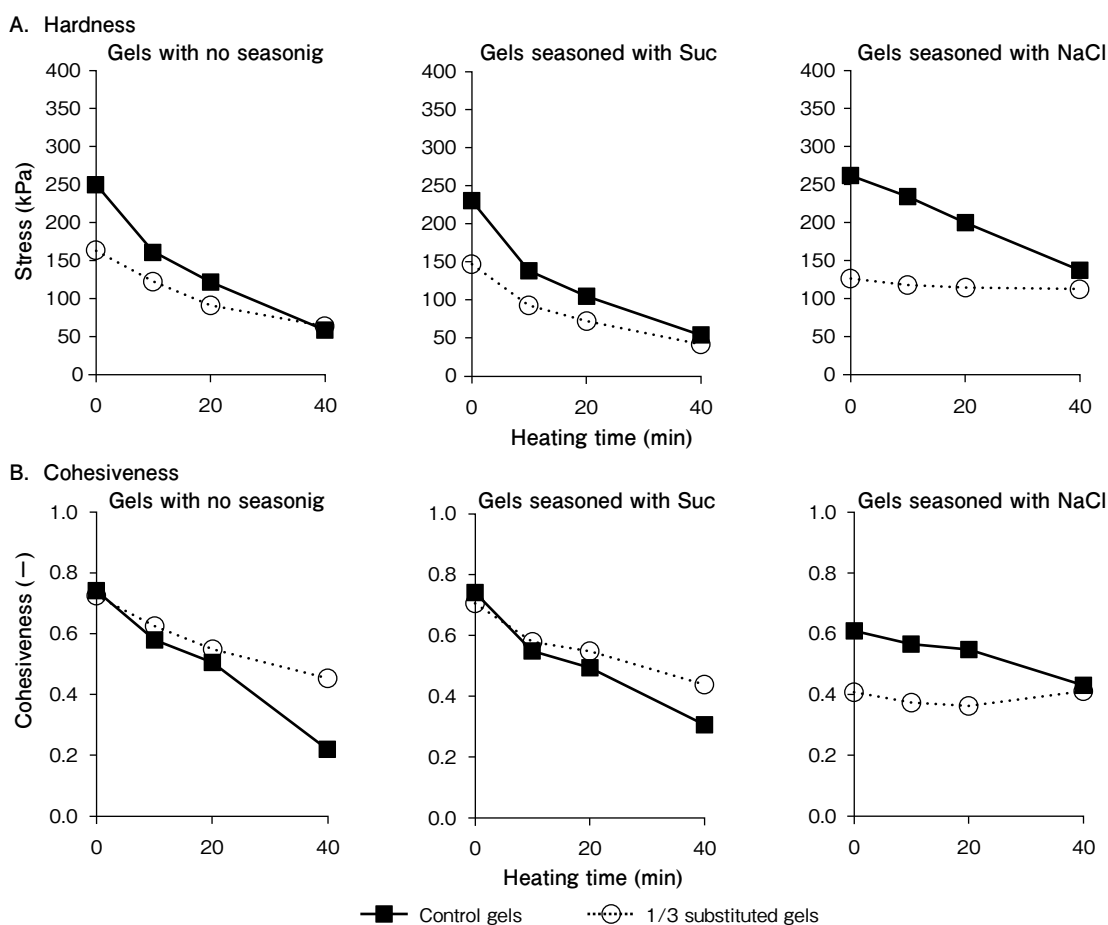


Fig. 7. Changes in the textural properties of the seasoning gels during heating at 80°C in the deionized distilled water. The profiles of the gels with no seasoning were used again as illustrated in Fig. 3.

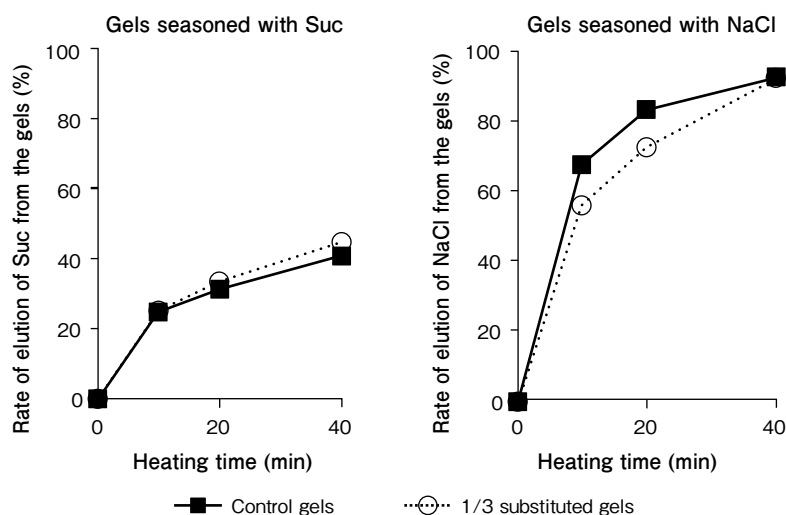


Fig. 8. Changes in the rate of eluted seasoning from the gels during heating at 80°C. After heating of the cube cut-gels in each solution, the amounts of sucrose or NaCl in the cooking solution were measured.

考 察

SPIの一部をデンプンに置き換えた混合ゲルでは、硬さにおいてはデンプン含有率の増加と共に減少し、凝集性においてはSPIの2/3がデンプンに置換されると著しく低下した (Fig. 1)。凝集性は咀嚼時の崩れやすさの指標として用いられ、SPIとデンプンが絡まった構造を持つゲルは、その配合割合により軟らかく、口腔内で崩れやすくなることが示された。

これらのゲルを各種調味液で加熱した結果 (Fig. 1, Fig. 2)、SPIゲルは高い親水性から加熱による吸水が著しく、そのために硬さおよび凝集性が大きく低下し、SPIゲルを水およびスクロース溶液で‘煮る’‘茹でる’という調理法は不向きであることが示された。しかし、SPIをデンプンに置き換えると、その置換率が高いほど、加熱に伴う吸水、物性変化が抑制された。一方塩化ナトリウム溶液加熱においては、いずれのゲルも加熱に伴う物性変化がほとんど見られなかった。塩化ナトリウム濃度がさらに高い煮汁では、SPIゲルは重量が減少し、やや硬くなったが、デンプン置換割合が増えるとその変動が小さくなった。すなわち、デンプンを含んだ混合ゲルは、水、スクロース溶液加熱による膨潤、煮汁加熱による収縮を抑制し、調理過程においてその物性が安定に維持される傾向があることが示された。

次に、あらかじめ味が付いているゲルを調理することを想定し、スクロースおよび塩化ナトリウム添加ゲルを脱イオン水で加熱した際の調理特性について調べた。一般に塩化ナトリウムを添加するとSPIゲルは硬くてもろくなることが知られている⁵⁾。本研究においても、対照ゲルは塩化ナトリウム添加により、わずかなではあるが有意に硬くなり、凝集性が低下した (Fig. 5)。しかし、デンプンに置換したゲルでは塩化ナトリウム添加により硬さが減少し、凝集性は著しく低下した。ジャガイモデンプンの糊化は塩化ナトリウム添加により抑制されるため⁶⁾、置換ゲルの物性にはデンプンへの塩化ナトリウムの影響が表れたと考えられる。加熱に伴う重量変化 (Fig. 6) や物性変化 (Fig. 7) は、対照ゲルより置換ゲルの方が小さく安定しており、これは調味料無添加ゲルを調味液中で加熱した場合と同様の傾向であった。

ゲルと調味成分との相互作用においては、調味料無添加ゲルへの調味成分の浸透 (Fig. 4) では、スクロースの浸透速度は置換ゲルの方が対照ゲルよりも緩やかであった。また、加熱に伴うゲルからの調味成分の溶出率 (Fig. 8) では、塩化ナトリウム添加ゲルにおいては、置換ゲルの方が対照ゲルよりも溶出速度が緩やかであった。対照ゲルと置換ゲルとのスクロースおよび塩化ナトリウムの浸透・溶出の違いは、SPIとデンプンの三次元構造と関わっていることも考えられ、今後、詳細な検討が必要である。

要 約

SPIゲルおよびSPIの一部をデンプンで置換したSPI・デンプン混合ゲルを各種調味液で加熱した結果、水および10%スクロース溶液加熱では、SPIのみのゲルは加熱に伴い膨潤し、硬さおよび凝集性が低下したが、置換ゲルはその変化が小さかった。1%塩化ナトリウム溶液加熱においては、いずれのゲルも加熱に伴う物性変化が小さかった。塩分濃度がより高い煮汁においてはSPIゲルでは加熱に伴い収縮し、硬さの増加が認められたが、置換ゲルにおいては重量、物性の変化が一定に保たれた。調味料添加ゲルの物性においては、塩化ナトリウムを添加すると置換ゲルはSPIゲルよりも硬さが著しく低下し、凝集性も低下した。また、塩化ナトリウムを添加した置換ゲルはSPIゲルよりも加熱に伴う物性変化が小さいことが示された。調味液で加熱した際の加熱に伴う調味成分の浸透、および調味料添加ゲルを加熱した際のゲルからの調味成分の溶出は、SPIゲルに比べると置換ゲルの方が緩やかな傾向があり、SPIの親水性や、SPIとデンプンが絡み合う三次元構造が影響を与えている可能性が示唆された。そのために、SPI・デンプン複合体の組み立ては、単にSPIとデンプンの混合以上の特異な効果を現し、新しい調味素材として食品・調理加工に利用できるであろうと考えられた。

文 献

- 1) 今井悦子, 大石恭子, 香西みどり (2012): 大豆たん白質と諸系列デンプンの相互作用による複合体群の形成と有用調理物性のスクリーニング. 大豆たん白質研究, **14**, 107-110.
- 2) 三星沙織, 米山陽子, 江木伸子, 前田康智, 高田晶子, 齋尾恭子, 平尾和子 (2012): 大豆たん白クッキーの物性および官能評価に及ぼす材料配合比の影響. 日本調理科学会 平成24年度大会要旨, 秋田, p. 7.
- 3) 平尾和子 (2012): 加水量の違いによる分離大豆たん白添加パンの改善効果. 愛国学園短大紀要, **29**, 35-44.
- 4) 平尾和子, 渡辺篤二, 高橋節子 (2003): プラマングェ様澱粉ゲルの物性および官能評価に及ぼす大豆たん白質添加の影響 (第1報) 添加量, 添加方法の影響. 日本家政学会誌, **54**, 457-468.
- 5) 青木 宏 (1965): 大豆たん白質のゲル形成に関する研究 (第2報) ゲル形成に影響をおよぼす二, 三の基本的因子について. 日本農芸化学会誌, **39**, 270-276.
- 6) 山本和夫 (2003): 澱粉科学の事典, 不破英次ら編, 朝倉書店, 東京, p. 366.