

煮熟さつまいもの組織と色に及ぼす みょうばんの影響

Effect of Alum on the Structure and Color of Cooked Sweet Potatoes

(1999年3月31日受理)

佐々木敦子 岸上 洋子 淵上 倫子

Atsuko Sasaki Yoko Kishigami Michiko Fuchigami

Key words : さつまいも, 調理, みょうばん, 組織, 色

さつまいもは食物繊維のセルロースを豊富に含み、ビタミンCを100g中約30mg、ビタミンEを100g中4mg含んでいて¹⁾低エネルギーのヘルシー食品として扱われている。甘みを持つので間食にされるほか、煮物、揚げ物、蒸し物、蒸し焼きなど和洋中いずれの料理にも利用されるが、煮物にする際、煮くずれを起こしやすい。その煮くずれ防止のために、みょうばん溶液中に浸漬したり、みょうばん液中で加熱することが古くから行われてきた²⁾。

野菜の軟化の難易には細胞一次壁およびその中葉に含まれるペクチン質の性質^{3) 4) 5)}や、煮汁のpH^{6) 7)}、塩類の種類^{8) 9) 10) 11)}、予加熱の有無^{12) 13) 14) 15)}などが関係している。すなわち、エステル化度の高いペクチンを多く含むほど、ペクチンのトランスエリミネーションによる分解³⁾が起こりやすいため軟化しやすい^{4) 5)}。また、pH4ではペクチン質の煮汁への溶出が少ないため軟化しにくい^{6) 7)}。また、野菜は長時間水に浸漬したり、比較的高い温度(60℃)で予加熱すると硬化現象を起こすことが報告されている^{12) 13) 14) 15) 16)}。

著者らはさつまいもをみょうばん溶液中で煮ると、塩化アルミニウム溶液中で加熱したものやみょうばん液と同じpH値の緩衝液中で加熱したものより柔らかいこと、みょうばん液中で60℃予加熱するとさつまいもが軟化しにくくなることをペクチン質の点から検討しすでに報告した¹⁵⁾。さつまいもを煮くずれを起こさない程度に硬化させることによって煮くずれを防げるわけである。

また、最近のさつまいもは品種改良のためか煮熟後の変色が少ないと感じているが、さつまいもにはポリフェノール類が多く含まれ、特にさつまいもにはクロロゲン酸が多くて色が変化しやすく、アルカリ性になると緑変を起こすといわれている。さつまいもの料理には黄色を強調するため梔子(くちなし)の実を用いたり、みょうばん液で煮ると色が美しくなるという報告もある¹⁷⁾。

本報では、みょうばん溶液が酸性であることに着目して、さつまいもをみょうばん液で煮熟した後の硬さ、組織および色への影響について検討した結果を報告する。

実験方法

1. 実験材料

さつまいもは徳島里浦で収穫された市販の鳴門金時を3月に購入し使用した。両端の細い部分を除いた中央部を用い、維管束のすぐ内側から直径11mm、厚さ10mmの円盤を作り、色の測定用には直径15mm、厚さ5mmの円盤を作って試料とした。

2. 煮熟方法

1) みょうばんの濃度と加熱時間の影響

蒸留水、0.25%、0.5%、1%みょうばん（特級試薬、カリウムみょうばん、和光純薬工業製）溶液をビーカーに100ml入れて沸騰させ、この中にさつまいもの円盤を6個ずつ加える。再沸騰した時点を0分とし、2.5、5、10、15、20分加熱後取り出した。

2) 煮汁のpHの影響

pHの異なる溶液（pH 2～pH 12）を調整した。すなわちpH 2は0.01N塩酸溶液、pH 3～5は0.1M酢酸塩緩衝液、pH 6～8は0.1Mリン酸塩緩衝液、pH 9は0.1Mリン酸塩緩衝液にリン酸二ナトリウム溶液を加えたもの、pH 12は0.1N水酸化ナトリウム溶液を用いた。これらの溶液8種と蒸留水、0.5%みょうばん液の各100mlをビーカー中で沸騰させ、さつまいもの円盤6個を加えて再沸騰後5分加熱した。

3) 組織への影響

さつまいもの円盤6個を蒸留水中および0.5%みょうばん液中で5分加熱したもの、60℃の蒸留水および0.5%みょうばん液中に2時間浸漬したもの、蒸留水および0.5%みょうばん液に2時間浸漬後蒸留水で2回洗い、蒸留水中で5分加熱したもの、および生の7種類より顕微鏡観察試料を作った。

3. 硬さの測定

レオメーター（NRM-2010J-CW、不動工業製）を用い、直径3mmの円筒型プランジャーで破断応力を測定した。

4. 色の測定

さつまいもの色は測色色差計（ND-101D、日本電色工業）でL値、a値、b値を測定した。

5. 顕微鏡観察

光学顕微鏡観察：さつまいもの円盤の外部と中心部についてエポキシ樹脂に包埋し、光学顕微鏡で観察した。すなわち、さつまいもをグルタルアルデヒド液に漬けておき、1mm角に切る。これを別のグルタルアルデヒド液に移し4℃で1時間固定し、10%の蔗糖を加えた0.1Mリン酸緩衝液に換え、4℃で20分おく。この間に液を4～5回交換する。1%オスミウム酸固定液に換えて4℃で2時間固定する。その後氷水中で固定びんを冷やしながらか70%アルコールで3回洗い、80、90%に順次換えて5～15分ずつ置く。この間、同一液を2～3回交換する。以後は室温に戻し、95%、無水アルコールに5～15分ずつ3回液を交換し脱水する。ついで液を酸化プロピ

レンに換え、5～10分ずつ2回液を交換する。この試料をエポキシ樹脂に包埋、加熱重合させ、ガラスナイフをつけたウルトラマイクロトーム (Ultracuts, Reichert-Nissei 製) で50～70nmの超薄切片を作り、トルイジンブルーで染色して200倍の倍率で観察した。

クライオーSEM観察：生の組織を1 mm × 1 mm × 6 mm に切断し、20%、40%、50%エタノールに30分ずつ浸して脱水後、液体窒素中で急速凍結し、直ちに走査型電子顕微鏡 (S-4500, 日立製作所製) で約-120℃、加速電圧 1 kv で観察した。

結果および考察

1. さつまいもの硬さへのみょうばんの影響

煮熟さつまいもの硬さに与えるみょうばんの濃度と加熱時間の影響を Fig. 1 に示した。さつまいもを沸騰水中に入れて再沸騰するまでの時間は1～2分でその間にかなり軟化した。再沸騰後5分までに急激に軟化し、その後の変化はわずかであった。みょうばん溶液中で煮熟したものは明らかに水煮したものに比べて硬かった。みょうばんの濃度が濃い程軟化しにくかったが、その差は2.5分のときが最も大きく、時間の経過とともに差が縮まった。このときの加熱後の煮汁のpHをTable 1 に示した。再沸騰の時点でのpHは蒸留水では原液より多少上がり pH 6.36、みょうばん液は原液よりやや下がり pH 3.41～3.67で、加熱時間が延長するに従ってやや低下し

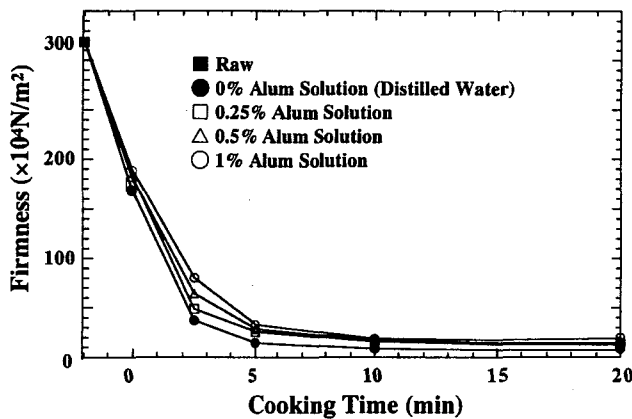


Fig. 1. Effects of alum and cooking time on the firmness of cooked sweet potatoes.

Table 1. The pH values of alum solution after cooking.

Alum (%)	Initial	Cooking Time (min)					
		0	2.5	5	10	15	20
0	5.93	6.36	6.34	6.33	6.24	6.24	6.20
0.25	3.67	3.41	3.32	3.31	3.26	3.24	3.23
0.50	3.55	3.38	3.35	3.34	3.28	3.27	3.25
1.00	3.41	3.33	3.28	3.28	3.26	3.24	3.21

た。

pH の異なる溶液中で煮熟したさつまいもの硬さを Fig. 2 に示した。pH が 4 付近の時最も硬く、それ以下でもそれ以上でも軟化した。加熱によるペクチン質の分解は、pH が 3 以下では加水分解により、pH 5 以上ではトランスエリミネーションによって分解する^{6) 7)}。また pH 2 では加熱しなくてもカルシウムなどの塩類が除かれるため軟化する。pH 4 付近ではこれらの分解や脱塩

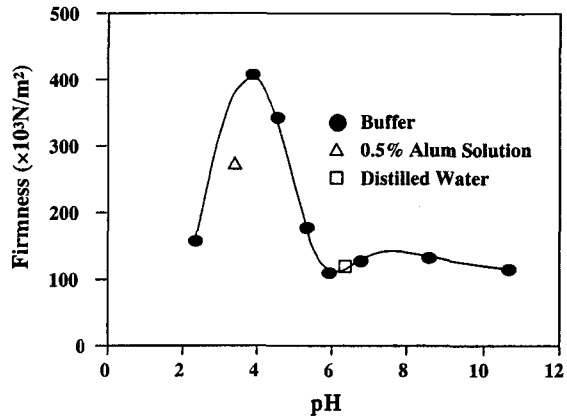


Fig. 2. Effect of pH on the firmness of cooked sweet potatoes.

が起こらないため軟化しにくい。一般に野菜はペクチン質が加熱分解後、煮汁中に溶出することによって柔らかくなる。

さつまいもをみょうばん液中で加熱するとペクチン質がみょうばん中のアルミニウムイオンと結合して不溶性となるため組織が引き締まるとされているが²⁾、さつまいもを煮熟した後の 0.5% みょうばん液の pH は 3.2 であり、ペクチン質が最も分解しにくい付近の pH であった。このことから、みょうばん液中で煮たとき硬さを維持するのは、煮汁の pH が低下するためとアルミニウムイオンの両者が関係していると考えられた。また、みょうばん液と同じ pH の緩衝液中で煮熟したものがみょうばん液中で煮たものより硬かった (Fig. 2)。みょうばん中にはカリウムイオンと硫酸イオンが存在し、この両者とも軟化を促進する作用があるため^{10) 11)}、柔らかかったと思われる。これらの結果から、みょうばんの野菜の硬化への影響はアルミニウムイオンよりむしろ酸性溶液となるためであることが示唆された。

2. さつまいもの組織へのみょうばんの影響

さつまいもの柔組織の顕微鏡写真を Fig. 3 に示した。生のさつまいもの細胞中にはでんぷん粒が多く存在していたが、5分煮熟するとでんぷん粒は消失し、でんぷんが膨潤糊化し細胞全体に広がった。5分煮熟により細胞間の結合がゆるみ分離した。みょうばん液中で加熱したものより蒸留水中で加熱したものの方が細胞間の分離が大であった。円盤の外側と中心部では差が見られなかった。

60℃の蒸留水で2時間予加熱したものは生と同様にでんぷん粒が観察され、60℃ではでんぷんは糊化していないことを示していた。みょうばん液で予加熱してもでんぷん粒に変化はみられなかった。予加熱後煮熟したものは、予加熱なしで煮熟したものの同様、でんぷんが細胞内いっばいに膨潤していたが、予加熱しないで直接煮熟したものに比べて細胞間の接着が強かった。60℃で予加熱を行うとペクチンメチルエステラーゼが働き¹²⁾、ペクチン質が低エステル化度となるため、ペクチ

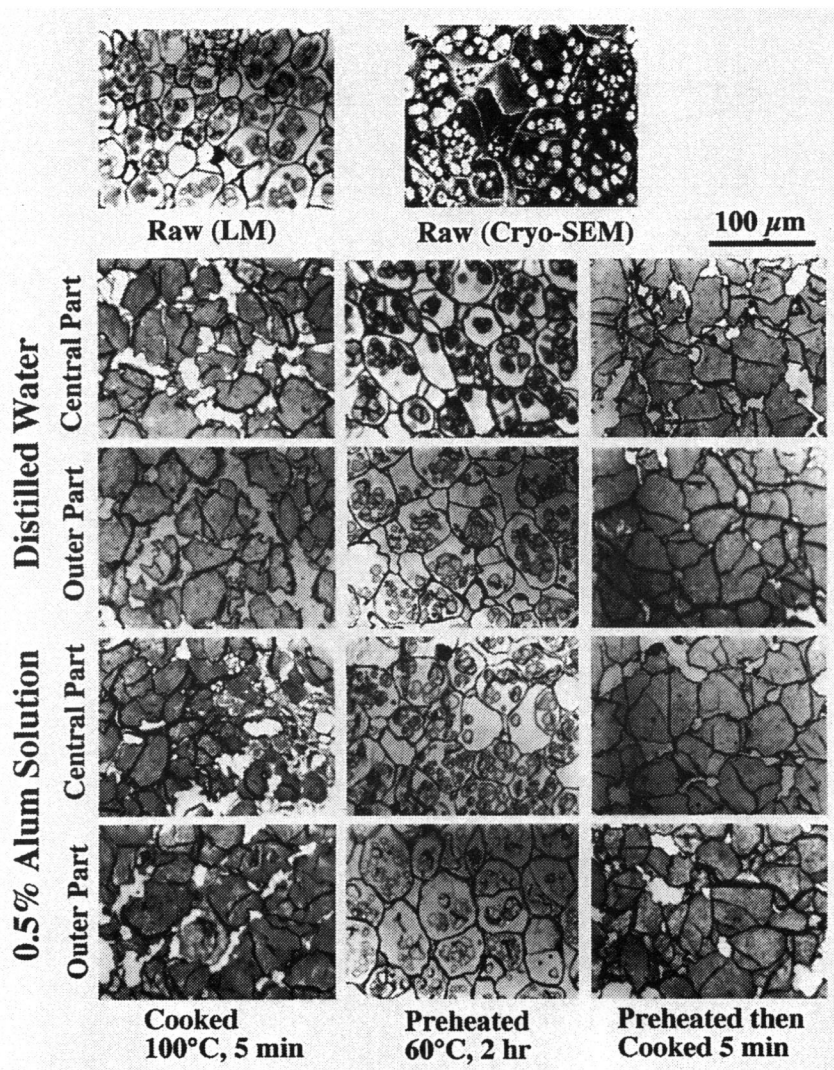


Fig. 3. Light micrographs of cooked sweet potatoes.

LM: light micrographs, cryo-SEM: cryo-scanning electron micrograph.

ンが加熱により分解しにくくなって細胞が分離しにくくなるため、軟化しにくい¹⁶⁾。

3. さつまいもの色へのみょうばんの影響

さつまいもの色に及ぼすみょうばんの濃度と加熱時間の影響を Fig. 4に示した。蒸留水中での加熱では加熱時間が長くなるに従ってさつまいもの明度が低下した。0.25%と0.5%みょうばん液中で加熱したとき、10分まではさつまいもの明度が上がりそれ以後低下した。1%みょうばん液中では5分で明度が最高となり、それ以後低下した。10分以後は蒸留水よりみょうばん液中で煮たさつまいものほうが明度が高くなっていた。

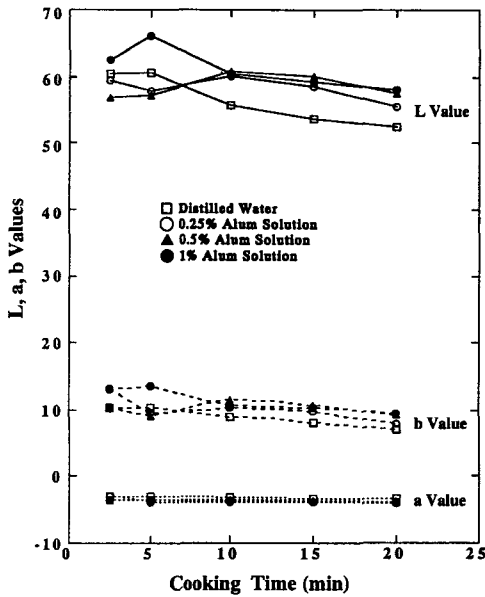


Fig. 4. Effects of alum concentration and cooking time on the color of cooked sweet potatoes.

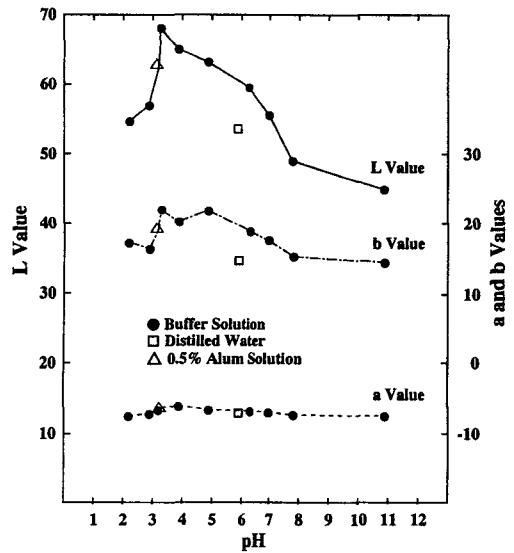


Fig. 5. Effect of pH on the color of cooked sweet potatoes.

b 値は値が高い程黄色が強いことを示す。加熱時間が長くなるに従って b 値がわずかに低下した。蒸留水よりみょうばん液中で煮熟したものの方が b 値が高く、より黄色いことを示している。

a 値のマイナス方向は緑、プラスは赤を示す。a 値はいずれの場合も約 -3 で少し緑色を呈すが、みょうばんの有無や加熱時間によりあまり差がみられなかった。また、L 値、a 値、b 値ともみょうばんの濃度による差はほとんどみられなかった。

さつまいもの色に及ぼす pH の影響を Fig. 5 に示した。L 値は煮汁が pH 3.3 のとき最も高く、pH が上がると急激に低下した。a 値は pH による影響が少なかったが、煮汁の pH が 3.9 のとき最も高く、この pH を離れるに従ってわずかに低くなっていた。すなわち、pH 3.9 より離れるに従ってわずかにではあるが、さつまいもが緑色がかかることを示している。b 値は煮汁が pH 3.3 のとき最も高く、この付近の pH 溶液中で煮熟したさつまいもが最も黄色いことを示している。

0.5% みょうばん水中で加熱したとき、加熱後の煮汁は pH 3.2 でさつまいもの L, a, b 値は pH 3.2 の緩衝液中で加熱したさつまいもと同等であった。すなわち、pH 3.2 では L, a, b 値は比較的高く、水煮したものより明るく、きれいな黄色であった。

さつまいもの黄色はカロチノイド色素であるため¹⁸⁾、煮熟後の色は煮汁の pH に左右されないが、さつまいもに含まれているフラボノイド系の色素は酸性で白色を呈するため、みょうばん液中で煮たとき明度が増したものと考えられる。また、さつまいもにはクロロゲン酸が含まれているため、アルカリ性溶液中で煮熟すると緑色を呈することがあるが、本実験に使用したさつまいもはアルカリ性にしても a 値が低下しなかった。鳴門金時はクロロゲン酸が少ない品種と思われる。

要 約

煮熟さつまいもの硬さ、色、組織に与えるみょうばんの影響について検討した。その結果、煮汁にみょうばんを加えて煮熟すると水煮した場合に比べ、さつまいもの細胞間の分離が少なく、軟化しにくく煮くずれを防ぐことが明らかとなった。みょうばん液は酸性であり、ペクチン質を分解しにくい pH であることがその理由の一つであると考えられた。生および60℃ 2時間予加熱したさつまいもの細胞中にはでんぷん粒が観察されたが、100℃で5分間煮熟するとでんぷん粒は消失し、でんぷんが膨潤糊化した。予加熱すると細胞間の分離が減少し、軟化しにくくなった。煮汁にみょうばんを添加すると pH が低下し、水煮した場合よりさつまいもの色が明るく黄色度が増した。

文 献

- 1) 畑明美, 南出隆久: 「野菜の科学」高宮和彦編, 朝倉書店, p.198 (1993)
- 2) 島田キミエ, 山崎清子: 「調理と理論」, p.135 (1983)
- 3) 後藤重芳, 河上敦子, 高祖美紀子, 日本家政学会誌, 20, 235 (1969)
- 4) 測上倫子, 岡本賢一: 日本栄養・食糧学会誌, 37, 57 (1984)
- 5) M. Fuchigami: Journal of Food Science, 52, 1317 (1987)
- 6) 測上倫子: 日本栄養・食糧学会誌, 36, 219 (1983)
- 7) 測上倫子: 日本栄養・食糧学会誌, 36, 294 (1983)
- 8) S. Tamura, M. Fuchigami and H. Okuda: Seventh Symposium on Salts, Vol II, 637 (1993)
- 9) M. Fuchigami, A. Sasaki, A. Sanmoto, S. Tamura and H. Okuda: J. Home Econ. Jpn., 44, 643 (1993)
- 10) M. Fuchigami, S. Tamura and H. Okuda: J. Home Econ. Jpn., 44, 649 (1993)
- 11) S. Tamura, C. Kawamura, T. Senda, and M. Fuchigami: J. Home Econ. Jpn., 44, 633 (1993)
- 12) L. G. Bartolome and J.E. Hoff: J. Agr. Food. Chem., 20, 266 (1972)
- 13) 測上倫子, 小西英子: 岡山県立短大紀要, 22, 45 (1978)
- 14) 小西英子, 測上倫子, 岡本賢一: 栄養と食糧, 28, 44 (1975)
- 15) A. Sasaki, Y. Kishigami and M. Fuchigami: Journal of Food Science, 64, 111 (1999)
- 16) M. Fuchigami: J. Home Econ. Jpn., 37, 1029 (1986)
- 17) 樋口キヨ: 家政学雑誌, 8, 194 (1957)
- 18) 山本喜男: 家政学研究, 9, 65 (1962)