

さつまいもの硬さ、組織、色に及ぼす レモン煮の影響

The Effect of Lemons on Firmness, Structure and Color of Cooked Sweet Potatoes

(2001年3月31日受理)

佐々木敦子 寺本 あい 瀧上 倫子
Atsuko Sasaki Ai Teramoto Michiko Fuchigami

Key words : さつまいも, 調理, レモン, 硬さ, 組織, 色

さつまいもは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く、変色することが欠点といえる。

一般に野菜を煮熟すると軟化する。この理由の一つは細胞壁を接合している中葉および細胞一次壁を構成しているペクチン質が、加熱により煮汁中に溶出し、細胞間の結合力が失われるためである¹⁾。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²⁾³⁾⁴⁾や、煮汁のpH⁵⁾⁶⁾、塩類の種類⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、予加熱の有無¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾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²⁾が起りやすいため軟化しやすい³⁾⁴⁾。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⁵⁾⁶⁾。また、野菜は長時間水に浸漬したり、比較的高い温度(60℃)で予加熱するとペクチンメチルエステラーゼ(PME)が作用し、ペクチンが低エステル化度となるため、軟化しにくくなり硬化現象を起こすことが報告されている¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。

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¹⁴⁾。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ぐわけである。

また、さつまいもにはポリフェノール類が多く含まれる。特にさつまいもにはクロロゲン酸が多く、切断後空気にふれると色が変化しやすく、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梔子(くちなし)の実を用いて黄色を強調したり、みょうばんを用いて色を美しくする。¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾

本報では“さつまいものレモン煮”においてレモンがさつまいもの硬さと色にどのような影響を及ぼしているか検討した結果を報告する。

実験方法

1. 実験材料と加熱方法

1) さつまいもの硬さ、組織、色に及ぼすレモン煮の影響

さつまいも（学名 *Ipomoea batatas* (L.)）は市販の紅あずまを9月に購入し、使用した。両端の細い部分を除いた中央部を厚さ2 cmの輪切りにし、皮を厚くむいて表層部分を除いた後、直径3.5 cmの円盤とした。蒸留水200 mlまたはレモンの薄切り（3 mm厚さ）2枚を加えた蒸留水200 mlを1000 mlビーカーに入れて沸騰させ、この中にさつまいもの円盤を2個（約77.5 g）ずつ加えて、15分加熱後取り出した。

2) 調理操作（皮のむき方、あく抜き、加熱方法）が色に与える影響

さつまいもは市販の鳴門金時を11月に購入し使用した。さつまいもは1 cmの輪切りにした後、皮を厚くむき表層のないものと薄く剥いて表層の残っているもの、これらを水に10分漬けてあくを抜いたものとあくを抜かないもの、さらにこれを沸騰水中でゆでるもの（水煮）とマイクロ波加熱のもの合計8種類を約60 g（円盤2枚）ずつ用意した。水加熱は6分、電子レンジ加熱はラップをして5分加熱した。測定箇所によるむらがないようにこれらを裏ごしした後試料とした。

2. 硬さの測定

煮熟したさつまいもを厚さ半分に切り、煮汁に接触していた外部からと、接触していなかった内部から硬さを測定し、それぞれ、外部試料、内部試料とした。直径3 mmの円筒型プランジャーを用いてレオメーター（NRM-2010J-CW、不動工業製）で測定し、破断応力で示した。

また、レモンの薄切りを加えて加熱したさつまいもはクリープメータ（レオナーRE-33005 山電製）でも測定し、破断強度解析を行った。すなわち、サンプル厚さ計（HC-3305、山電製）で予め試料の厚さを測定し、直径3 mmの円柱型アクリル製プランジャーを用い、2 kgロードセル、圧縮速度1 mm/秒で99%まで圧縮したときの物性の変化を測定した。得られた応力-歪曲線から破断応力、破断歪（歪率）を求めた。

3. 色の測定

煮熟後のさつまいもの色はカラーセンサー（MCR-A、ラックオフィス製）を用いて測定し、L値、a値、b値で示した。L値は明度を表し、a値は+側で赤の度合い、-側では緑の度合いを、b値は+側では黄の度合い、-側では青の度合いを示す。

4. クライオ走査電子顕微鏡（クライオ-SEM）観察

生、水煮およびレモン煮（煮汁に接触していた面と中央部）の組織を1 mm×1 mm×6 mmに切断し、40%、50%エタノールに30分ずつ浸して脱水後、専用試料台に蒸留水を一滴加えて試料をのせ、試料ホルダーにセットし、ホルダーごと液体窒素中に浸漬して25秒急速凍結した。直ちに試料を高分

解能クライオ-SEM（電界放射型走査型電子顕微鏡，S-4500日立製作所製）の冷却されたステージにセットした。次に試料を45度に傾斜した後冷却ナイフで試料の先端を切断した。切断面の凍結した水分を昇華するために，ヒーターで約-80℃まで加温した。表層の氷が昇華し，組織が表れたところで，金蒸着を行った。1KVの加速電圧，約-120℃で観察した。400倍で柔組織を，1万倍，3万倍で細胞壁を観察した。

結果および考察

1. さつまいもの硬さに及ぼすレモン煮の影響

煮熟さつまいもの硬さに及ぼすレモン煮の影響についてレオメーターで測定した結果を図1に示した。レモンの薄切りを加えた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。このときの加熱後の煮汁のpHは，水煮の場合はpH6.35，レモンの薄切りを加えた溶液の場合はpH3.27であった。

また，レモン煮したさつまいもの硬さを外部からと内部からクリープメータで測定したときの応力-歪曲線を図2に示した。外部は内部より破断応力，歪み率とも大きく，さつまいもの厚さの約40%圧縮したところで破断した。一方，内部は約20%圧縮したところで破断曲線が横ばいとなり，以後同じ硬さを維持していた。外部を約50%圧縮すると，内部とほぼ同じ破断応力を維持した。このことから2cm厚さの円盤の表面から約20%のみが非常に硬く，内部は比較的早く柔らかくなることがわかった。15分加熱の間にさつまいもの表面から約4～5mm位までレモン中のクエン酸が拡散し，軟化に影響を及ぼしたと思われる。

pHの異なる溶液中で煮熟したさつまいもの硬さは前報¹⁴⁾で報告したが，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，pH5以上ではトランスエリミネーションによって分解する⁵⁾⁶⁾。また著者らはpH2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し，pH4付近ではこれら

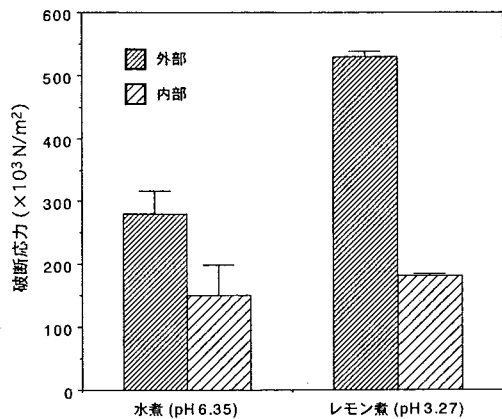


図1. レモン煮したさつまいも硬さ

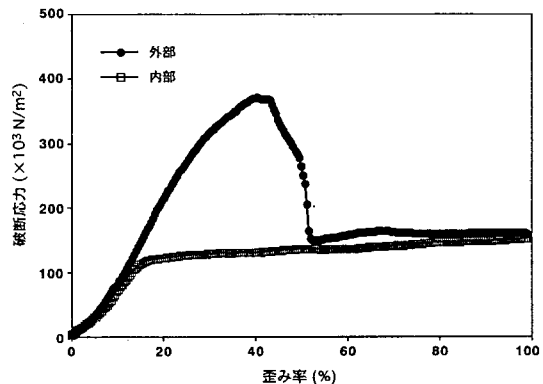


図2. レモン煮したさつまいもの応力-歪み曲線

の分解や脱塩が起こらないため軟化しにくいことを報告している。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。さつまいもをレモンの薄切りを加えた煮汁で煮熟した後の煮汁のpHは3.27であり；さつまいもの表面より約20%内部のpHは3.27よりやや高いことが考えられ、ペクチン質が最も分解しにくい付近のpHであったと思われる。このことから、レモン煮のさつまいもが煮くずれを起こさず硬さを維持するのは、煮汁のpHが低下し、ペクチンの溶出が抑えられるためと考えられた。

また、レモン煮も水煮も煮熟中煮汁に接触している外部の方が内部より硬かった。水煮の場合、沸騰水中に試料を投入するため、外部の方が内部より柔らかいことが予想された。しかし、実際は外部の方が硬かった。はっきりした理由はわからないが、80℃以上でペクチンメチルエステルアゼ（PME）の作用が失活するまでの間、内部より外部の方が50～70℃にさらされる時間が長かったことが考えられる。そのためPMEによりペクチンのエステル化度が低下したため、80℃以上で加熱してもトランスエリミネーションが起きにくく比較的硬かったと思われる。レモン煮においては表面がpH4付近にさらされるため、ペクチンのトランスエリミネーションによる分解が起きにくく、さつまいも全体が硬くなるのではなく、表面が硬くなることにより煮くずれを防いでいることがわかった。

2. さつまいもの組織へのレモン煮の影響

さつまいもの柔組織のクライオ走査電子顕微鏡写真を図3-1，図3-2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（a-1）が、15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ていた（b-1，c-1，d-1）。

細胞壁を1万倍（2），3万倍（3）で観察したところ生の細胞壁はしっかりと細胞どうしが接着されていた（a-2，a-3）。水煮すると、主として細胞間の中葉（middle lamella）の部分が開裂した（b-2，b-3）。レモン煮の内部（c-2，c-3）は水煮にみられたような中層の分離が認められず、細胞一次壁全体にゆるみが生じた。レモン煮の外部（d-2，d-3）はレモン煮の内部（c-2，c-3）に比べて細胞一次壁および中葉の部分にゆるみが少なく、比較的生に近い構造であった。このことがさつまいもの硬さに関係していると考えられた。

3. さつまいもの色に及ぼすレモン煮の影響

さつまいもの色に及ぼすレモン煮の影響を表1に示した。L値，b値は水煮とレモン煮に差はみられなかった。a値はレモン煮が-2.3，水煮が-2.8で、水煮の方が緑色の度合いが大であった。さつまいもの黒変は酵素的黒変と

表1. レモン汁が煮熟さつまいもの硬さに及ぼす影響

	水 煮	レモン煮
L 値	77.9±0.3	76.8±0.3
a 値	-2.8±0.2	-2.3±0.1
b 値	31.6±0.2	31.1±0.5

非酵素的黒変があり、酵素的黒変は加工工程においてポリフェノールオキシダーゼを失活させるこ

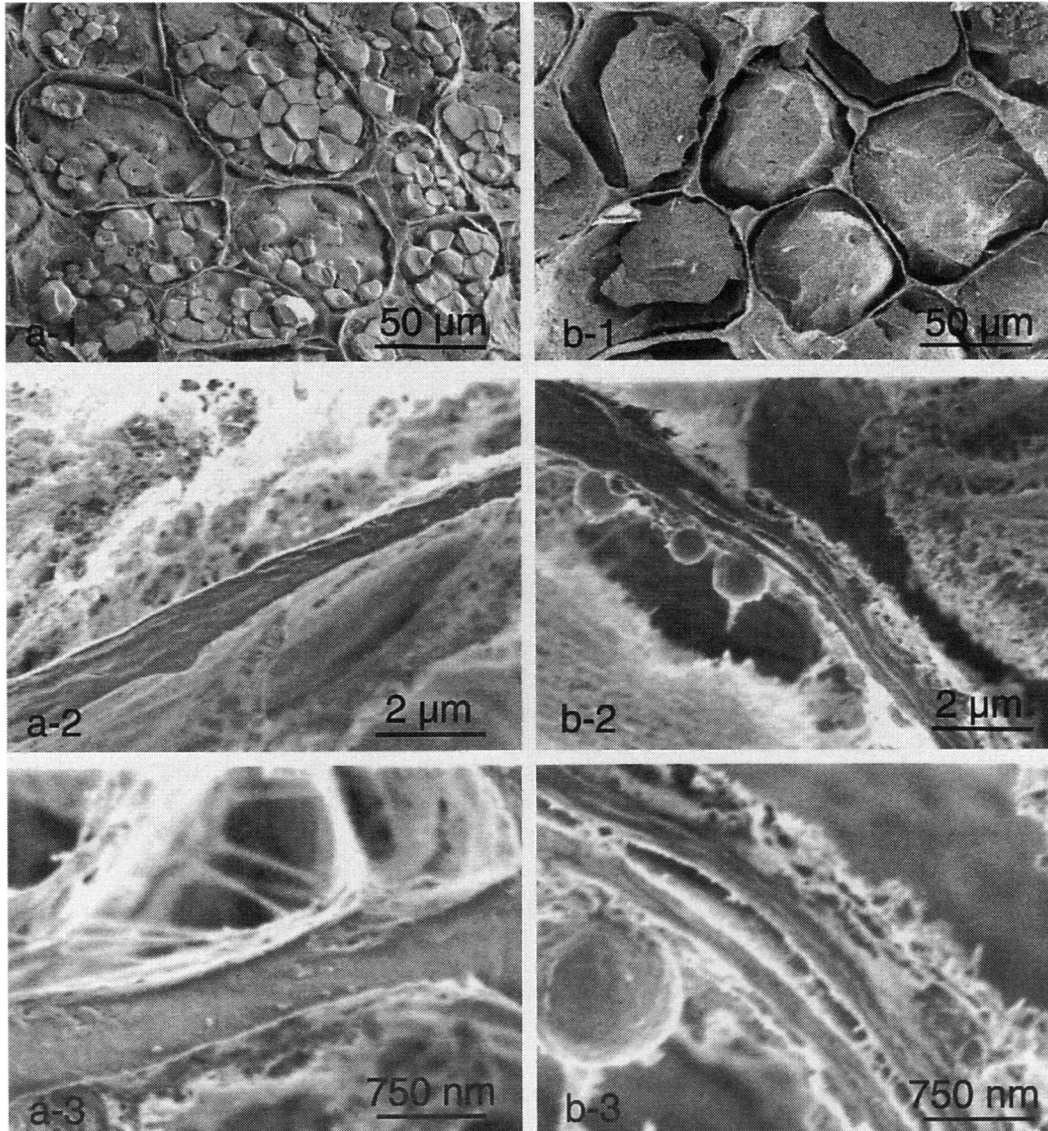


図3-1. さつまいものクライオ走査電子顕微鏡写真
a : 生, b : 水煮内部,
1 : ×400, 2 : ×10,000, 3 : ×30,000

とにより抑制できる。さつまいもを蒸す, 煮る, 焼く等の手段で加熱調理すると元来2価のイオンの状態で存在していた鉄成分が, 加熱によって酸化され3価の鉄イオンに変わる。3価の鉄イオンはポリフェノール(主としてクロロゲン酸等のオルトジフェノール)と結合し, 黒色複合体を形成し, 黒変する¹⁹⁾²⁰⁾。

レモン煮の場合, 水煮と比べ, わずかに緑色度が低かった。レモン煮の加熱後の煮汁はpH3.27で酸性であるので酵素の働きを不活性にし, ある程度黒変を防げることがわかった。しかし, 今回のさつまいもではさつまいもに含まれているポリフェノール類が少ないためか, 水煮との大きな差

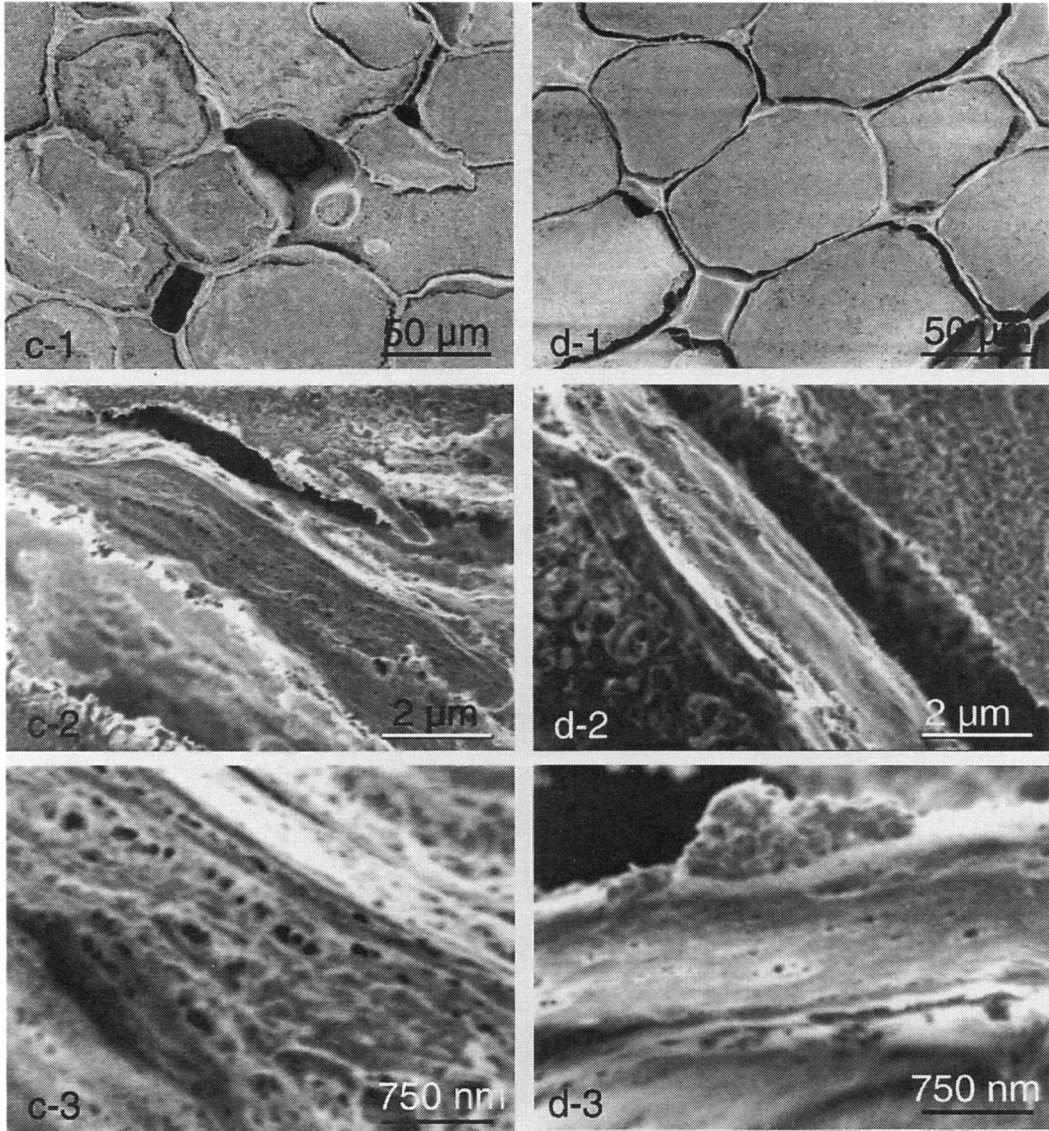


図3-2、さつまいものクライオ走査電子顕微鏡写真
c : レモン煮内部, d : レモン煮外部

がでなかったものと思われる。

調理操作（皮のむき方、あく抜き、加熱の方法）の違いがさつまいもの色に及ぼす影響を表2に示した。まず、最初に皮を厚くむいたものと薄くむいたものの比較を行った。皮を薄くむいたもののa値は $-3.1 \sim -2.0$ で、皮を厚くむいたもののa値は $-2.7 \sim -1.2$ と、皮を厚くむくと緑色度が抑えられることがわかった。b値は表層を残したものが $+29.8 \sim +35.7$ で、皮を厚くむいた方が黄色度が強いことが明らかとなった。L値は表層ありが $78.3 \sim 81.6$ 、皮を厚くむくと $78.3 \sim 84.4$ で皮を厚くむいた方が明度が高く、明るい色になることが明らかになった。このことから、クロロゲン酸

表2. さつまいもの色に及ぼす調理操作の影響

	表 層 あ り				表 層 な し			
	あく抜きあり		あく抜きなし		あく抜きあり		あく抜きなし	
	水 煮	マイクロ波加熱	水 煮	マイクロ波加熱	水 煮	マイクロ波加熱	水 煮	マイクロ波加熱
L 値	81.6	78.3	81.1	78.6	78.3	80.7	84.4	79.4
a 値	-2.8	-2.4	-3.1	-2	-2.7	-1.8	-1.4	-1.2
b 値	34.7	34.6	29.8	35.7	35.3	39.7	30.1	38.9

を多く含む表層の部分ではできるだけ厚くむいて除いた方が色良いものとなることが判明した。

次にあく抜きの有無が色にどう影響するかを調べた。a 値については、表層を残したものをあく抜きなしで水煮したいもの a 値が-3.1と最も緑色度が高かった。しかし、その他はあく抜きしたものの a 値が-1.8~-2.7、あく抜きしないものの a 値が-1.2~-2.0と、あく抜きした方が緑色度が若干強い結果であった。あく抜きしたものの b 値は+34.6~+39.7、あく抜きしないものの b 値は+29.8~+38.9であく抜きする方が水煮でもマイクロ波加熱でも b 値が高く、黄色度が高いことがわかった。L 値はあく抜きの有無で大差なかった。

次に水煮とマイクロ波加熱の比較を行った。どの調理操作とも水煮（a 値が-3.1~-1.4）の方がマイクロ波加熱（-2.4~-1.2）より緑色度が高いことがわかった。b 値は水煮が29.8~35.3、マイクロ波加熱が34.6~39.7であり、マイクロ波加熱の方が黄色度が高かった。L 値は少しの例外はあるものの水煮の方がマイクロ波加熱より高い傾向がみられた。

以上のことから、皮は厚くむいてポリフェノール類（クロロゲン酸）が多く含まれている表層の部分を除き、水に漬けることによりあくを抜き、マイクロ波加熱をして急激な温度上昇により黒変への反応を抑制させると色よく仕上がることがわかった。しかし、今回使用したさつまいもにはポリフェノール類が少ないためか、皮のむき方、あく抜きの有無などによる色の差はわずかであった。ポリフェノール類含量が多いさつまいもの品種では、調理後黒変度が激しいので、色を重視する料理には品種も考慮したい。

要 約

さつまいもの硬さ、色、組織に与えるレモン煮の影響、および、調理操作（皮のむき方、あく抜き、加熱の方法）がさつまいもの色に及ぼす影響について検討した結果以下のことが明らかとなった。

- 1) さつまいもをレモンの薄切りを添加した煮汁中で煮熟すると、水煮した場合に比べ硬かった。内部の硬さは水煮との差が少なかったが、特に煮汁に接触している表面が硬かった。レモン添加により煮汁のpHが低下しペクチン質が分解されにくいpHとなったためと思われる。
- 2) クライオ走査電子顕微鏡観察の結果、生の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15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。

- 3) 水煮すると細胞壁中葉の分離がみられたが、レモン煮したさつまいもの内部は細胞間の分離が少なく、一次壁にゆるみが生じた。外部の細胞壁は比較的しっかりしており、生の細胞壁の構造に近かった。
- 4) 色については、レモン煮の場合、水煮と比べわずかに緑色度が低かった。
- 5) 皮を厚くむくと緑色度が抑えられ、黄色度が強く、明るい色になることが明らかになった。
- 6) 水にさらしてあく抜きする方が、水煮でもマイクロ波加熱でも黄色度が高いことがわかった。明度はあく抜きの有無で大差なかった。
- 7) 水煮の方がマイクロ波加熱より緑色度が高いことがわかった。黄色度は水煮よりマイクロ波加熱の方が高かった。
- 8) 5)～7)より、皮は厚くむいてポリフェノール類が多く含まれている表層の部分を除き、水に漬けることによりあくを抜き、マイクロ波加熱をして急激な温度上昇により黒変への反応を抑制させると色よく仕上がるということがわかった。

文 献

- 1) の場輝佳：「食品調理機能学」田村真八郎，川端晶子編，建帛社，p.175 (1997)
- 2) 後藤重芳，河上敦子，高祖美紀子，日本家政学会誌，**20**，235 (1969)
- 3) 淵上倫子，岡本賢一：日本栄養・食糧学会誌，**37**，57 (1984)
- 4) M. Fuchigami: Journal of Food Science, **52**, 1317 (1987)
- 5) 淵上倫子：日本栄養・食糧学会誌，**36**，219 (1983)
- 6) 淵上倫子：日本栄養・食糧学会誌，**36**，294 (1983)
- 7) S. Tamura, M. Fuchigami and H. Okuda: Seventh Symposium on Salts, Vol II, 637 (1993)
- 8) M. Fuchigami, A. Sasaki, A. Sanmoto, S. Tamura and H. Okuda: J. Home Econ. Jpn., **44**, 643 (1993)
- 9) M. Fuchigami, S. Tamura and H. Okuda: J. Home Econ. Jpn., **44**, 649 (1993)
- 10) S. Tamura, C. Kawamura, T. Senda, and M. Fuchigami: J. Home Econ. Jpn., **44**, 633 (1993)
- 11) L. G. Bartolome and J.E. Hoff: J. Agr. Food Chem., **20**, 266 (1972)
- 12) 淵上倫子，小西英子：岡山県立短大紀要，**22**，45 (1978)
- 13) 小西英子，淵上倫子，岡本賢一：栄養と食糧，**28**，44 (1975)
- 14) A. Sasaki, Y. Kishigami and M. Fuchigami: Journal of Food Science, **64**, 111 (1999)
- 15) M. Fuchigami: J. Home Econ. Jpn., **37**, 1029 (1986)
- 16) 樋口キヨ：家政学雑誌，**8**，194 (1957)
- 17) 山本喜男：家政学研究，**9**，65 (1962)

さつまいものレモン煮

- 18) 佐々木敦子, 岸上洋子, 瀧上倫子; 中国短期大学紀要, **30**, 99 (1999)
- 19) 中林英俊: 日本食品工業学会誌, **17**, 231 (1970)
- 20) 下園英俊, 時村金愛, 池田健一郎, 馬場 透, 津志田藤次郎: 日本食品科学工学会誌, **47**, 504 (2000)