

異なる加熱操作による食品中の機能性成分の変化

森山 三千江
愛知学泉大学

Changes in Functional Factors of foods after different heat cooking

Michie Moriyama

キーワード：ガス加熱 gas heating、電磁誘導加熱 induction heating、機能性成分 functional factor

1. 緒言

近年、調理も様々な方法が開発されてきており、大量調理現場や家庭向きのものなど、各場面に向けたものやそうでないものがある。大量調理の現場での新調理法としてクックチルシステムやクックチルシステムの固体調理品に使用するタンブルチラー方式に似た手法である真空調理法が挙げられる。真空調理法は大量に調理する際に、スチームコンベクションの使用により、加熱作業中にヒトが付いていなくても良いため人件費の節約や素材と調味料を規定通りに入れて真空包装すれば、熟練者でも初心者で作っても同じ味になる、などの利点の他、生の食材を真空包装した後加熱調理を行うため、食材が酸素に触れず、調理後および貯蔵中に食品成分の酸化を防ぎ抗酸化性成分が高く保たれる¹⁾。そのほかにも真空調理の利点として調味料の軽減、好気性細菌の繁殖抑制、通常の煮調理と比較して煮くずれ防止などがあげられるが、動物性食品^{2~6)}に対して植物性食品に対する研究は少ない^{7~9)}。

又、家庭においては、加熱用器具としてマイクロ波を使用した電子レンジや電磁誘導加熱(Induction Heating, IH)を用いた電磁調理器などが広く用いられるようになってきた。電子レンジはコップ一杯の牛乳を温めるなど少量の加熱操作には他の加熱器具より断然に優位であり、電子レンジで調理操作を殆ど済ませている家庭も見受けられる。電磁調理器はガスと異なり、コンロがフラットであ

り清掃しやすい、火を使用せず安心感がある、屋内の空気が綺麗であると言う理由などから多くの家庭で使用されているが、一方で加熱ムラやトッププレートと鍋底を密着させなくては熱が伝わらず鍋振りが出来ない、するめなどの干物をあぶることが出来ない、使用できる鍋の材質に制限があるなど欠点も挙げられている。電磁調理器とガス加熱調理器による調理品の違いについて、天ぷらと炒め物の官能評価では味、外観、歯ざわりについて調理熱機器による差は見られなかったという報告¹⁰⁾や大根の煮調理においては、色の濃さと塩味の濃さにおいて有意差が見られたという報告がされている¹¹⁾。味については煮調理では水を使用するため、純水では水質の変化は無いが電磁誘導加熱で火力を強めると水道水成分が鍋表面に付着し、それが剥離して水質の変化をひきおこし、さらには pH の上昇が見られる¹²⁾という報告がある。この水道水からのミネラル成分の違いが食材の味に影響を及ぼすのではないかと考えられている。又、電磁誘導加熱では使用する鍋の材質に制限があるが、ガス加熱と電磁誘導加熱で異なる素材の鍋を使用すると水温の上昇も異なる事が報告されている¹¹⁾。そこで、本研究では同じ素材の鍋を用いてガス加熱と電磁誘導加熱による調理を行い、食品の機能性成分であるビタミン C(VC)量、ポリフェノール量およびラジカル捕捉活性を測定し、加熱操作後のこれらの変化から、熱源の違いが機能性成分に何らかの影響を及ぼすか検討することを目的とした。

2. 実験方法

(1) 試料

1) 試料は岡崎市内のスーパーおよび農協より入手した馬鈴薯（北海道産）、甘藷（鹿児島県産）、茄子（愛知県産）を用いた。

(2) 調理操作

1) 茄子および甘藷と馬鈴薯の焼き調理に用いたものは 1cm 厚、茹で調理に用いたものは 2cm 角に試料の大きさを揃えた。

2) 甘藷および馬鈴薯を加熱操作として電磁誘導加熱とガス加熱を用いて茹で調理を行った。試料の 10 倍量の水を鍋に加え、試料の内部温度が 90℃ になった後 8 分間加熱操作を続けた。電磁誘導加熱およびガス加熱操作時の水温および試料の内部温度を Fig.1 に示した。電磁誘導加熱の火力を最大にして調理操作を行い、その温度上昇に近くなるようにガス加熱の火力を調整したため、水温および試料の内部温度はそれほど大きな差は見られなかった。

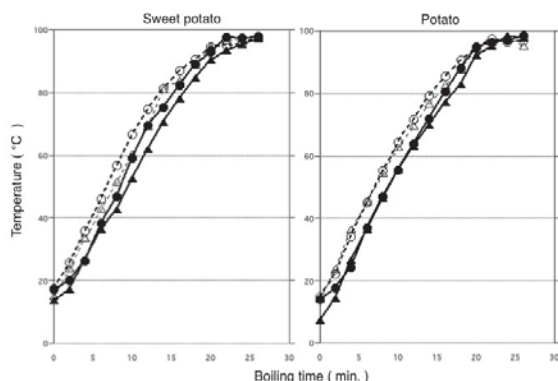


Fig. 1 Temperature of core and water by IH and Gas heating
●, Core by IH; ○, Water by IH; ▲, Core by GAS; △, Water by GAS

3) 甘藷および馬鈴薯を電磁誘導加熱およびガス加熱を用いて焼き調理を行った。試料重量の 15% の油を使用し、内部温度が 90℃ になった後 4 分で裏返し、6 分後に加熱操作を終了した。電磁誘導加熱およびガス加熱操作時の鍋底および試料の内部温度を Fig.2 に示した。焼き調理操作時には鍋に油を用いたため、電磁誘導加熱における鍋底の温度は急激に上昇した。ガス加熱はガスの出量を調整し、電磁誘導加熱操作時と同じような鍋底の温度上昇を試みたが馬鈴薯では若干、上昇が遅くなる傾向が見られた。しかし、試料の内部温度が 90℃ になる時間はそれほど差が見られず、ほぼ同じ条件で試料を調製出来たと考えられた。

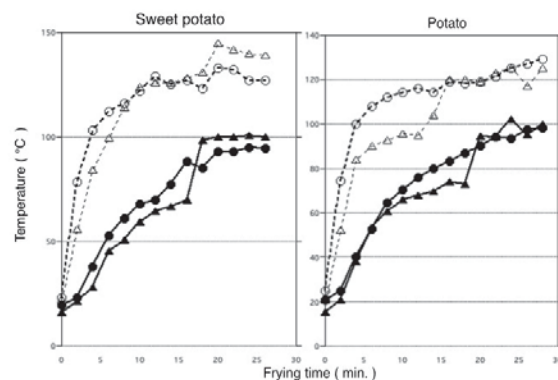


Fig. 2 Temperature of core and water by IH and Gas heating
●, Core by IH; ○, Bottom by IH; ▲, Core by GAS; △, Bottom by GAS

4) 茄子の焼き調理については試料の内部温度が 90℃ になった後 1 分で裏がえし、その後 1 分間加熱した。又、電磁誘導加熱およびガス加熱には SG マーク付き鉄素材の直径 26cm の同じ鍋を用いて調理操作を行った。茄子の焼き調理における鍋底と茄子の内部温度を Fig.3 に示した。電磁誘導加熱を最大出力にし、ガス加熱は電磁誘導加熱時の時間における温度上昇に合わせたため茄子の内分温度が 90℃ になった時間はほぼ同じであった。

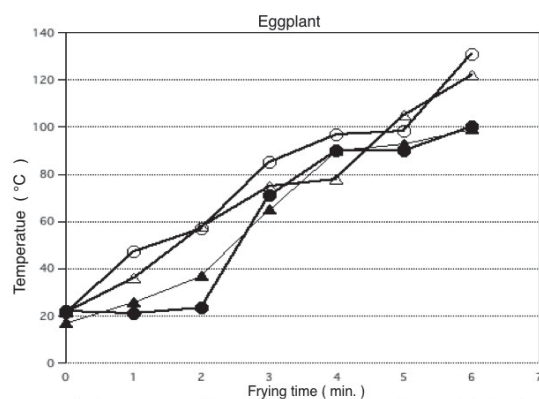


Fig. 3 Temperature of core and the bottom of a pan by IH and Gas heating
●, Core by IH; ○, Bottom by IH; ▲, Core by GAS; △, Bottom by GAS

(3) ビタミン C の抽出および定量

1) 試料の調製

磨砕した試料（10 g）は冷やした 6% メタリン酸 50 ml とともに、ブレンダー（佐久間製作所）にて 0℃、18000 rpm にて 3 分懸濁した。懸濁液を 6% メタリン酸で 100 ml にした後、38,000 g にて冷却遠心（KR-2000T、KUBOTA）を 10 分間行った。遠心後上清を No.2（口径 90 mm）のフィルターで濾過し、さらに PTFE メンブレン（0.20 μm）を通したものを HPLC 用試料液とした。

2) HPLC ポストカラム誘導体法

試料中のアスコルビン酸 (AsA、VC の還元型) およびデヒドロアスコルビン酸 (DHA、VC の酸化型) 量は安井らによる HPLC ポストカラム誘導体法¹³⁾にて定量した。事前に 2mM の過塩素酸にて平衡した Shim-Pack SCR-102H カラム(8x300 mm)に同溶液を 40℃で流し、試料検出溶媒とした。流速は 1.0 mL/分とした。AsA と DHA は 50 mM テトラヒドロホウ酸を含む 100 mM 水酸化ナトリウム溶液 (流速 0.5mL/分) を 20℃で流して 300 nm の検出波長で分離検出した。AsA と DHA 量は同様の方法を用いた AsA と DHA の標準試薬からなる数値から計算して、新鮮重量 100 g 当たりの AsA と DHA 量に換算し、AsA 量および DHA 量を合計したものを総ビタミン C(VC)量として求めた。

(4) ポリフェノールの抽出および定量

1) 試料の調製

試料 2 g を 80%エタノールで摩砕し、20 ml に定容したものを 37,000 g で 10 分間冷却遠心分離 (KR-2000T、KUBOTA) し、上清を定量用試料液とした。

2) ポリフェノール量の測定

石田らの Folin-Denis 法を改良した方法¹⁴⁾によった。試料液 1ml に Folin 試薬 1 ml を加えて発色させた後、10%炭酸ナトリウム 1 ml を加えて 1 時間静

置後 750 nm の吸光度を測定した。標準液としてクロロゲン酸溶液を用い、その検量線からポリフェノール量を新鮮重量 100 g 当たりのクロロゲン酸当量 μmol で表した。

(5) DPPH ラジカル捕捉活性の測定

1) 試料の調製

試料を 80%エタノールとともにホモブレンダー (佐久間製作所) で摩砕した後、ガラスホモジナイザーに移し、氷冷しながら試料が完全に摩砕されるまで、摩砕した。摩砕液を 21,000 g にて 10 分間冷却遠心分離 (KR-2000T、KUBOTA) し、上清を測定用試料液とした。

2) DPPH ラジカル捕捉活性の測定

Blois らの方法を改良した藤江らの方法¹⁵⁾に従い、517 nm における吸光度を測定した。標準抗酸化物質として、AsA を用いて検量線を作成し、この検量線よりラジカル捕捉活性を試料の新鮮重量 100 g 当たりの AsA (μmol) 当量で表した。

3. 結果および考察

(1) 馬鈴薯・甘藷

1) VC 量

i) 甘藷および馬鈴薯の電磁誘導加熱およびガス

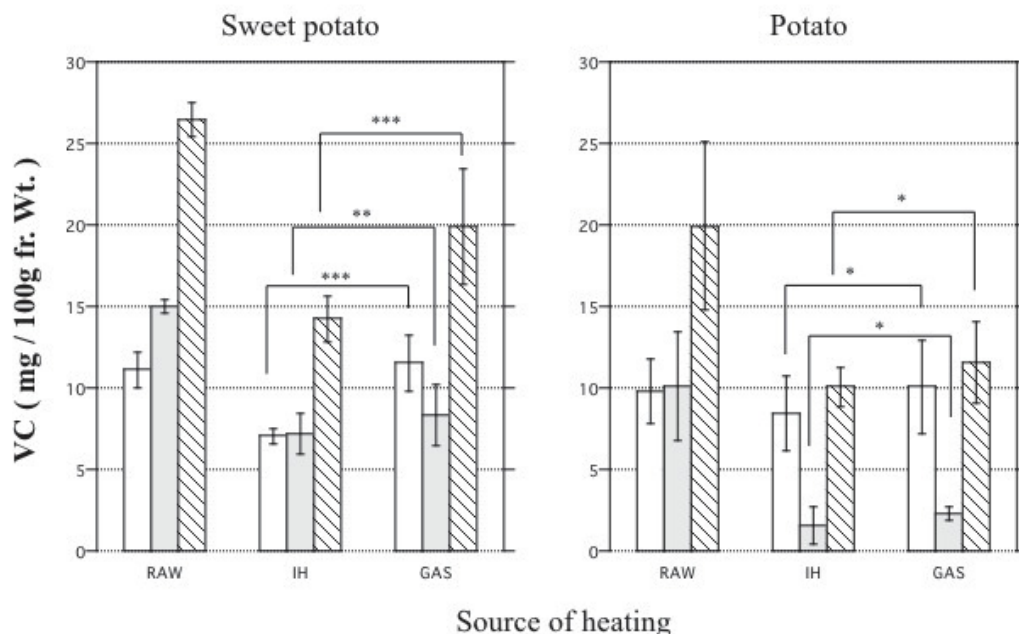


Fig. 4 Changes in VC content of sweet potato and potato after boiling

□, AsA; ▒, DHA; ▨, Total VC

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, . Each Value is the mean \pm SD. ($n = 12$)

加熱を用いて茹で調理を行った際の AsA 量、DHA 量およびこれらを足した総ビタミン C (VC) 量を Fig.4 に示した。甘藷のビタミン C 量は新鮮時からどちらの調理操作後も減少したが、調理操作別ではガス加熱によるものの方が AsA、DHA、総 VC 量とも有意に($p<0.001$)残存した。また、ガス加熱操作では AsA 量は新鮮時とほぼ変わらなかったが、電磁誘導加熱では約 6 割まで減少し、DHA 量も電磁誘導加熱操作時の減少が大きかったため、総 VC 量でも大きく調理操作による違いが生じた。

馬鈴薯は新鮮時に AsA 量と DHA 量がほぼ等量であったが、どちらの加熱操作後でも AsA 量はほとんど変化がなく、DHA 量は大幅に減少した。この DHA 量の減少が結果として総 VC 量の減少につながったと考えられる。

電磁誘導加熱とガス加熱による水流の違いでは、アルミ製鍋とステンレス製鍋では電磁誘導加熱の方が早いが生鍋では違いがなかったという報告¹¹⁾から今回は鉄製鍋を使用しアルミやステンレスに近い素材であったため、電磁誘導加熱による調理操作の水流が早く、VC は水溶性であるため、より水中に多く溶出した可能性がある。さらに電磁誘導加熱では pH の上昇がおり¹²⁾、VC の分解に関与するアスコ

ルビン酸オキシダーゼ(AAO)の働きは pH によって異なる¹⁶⁾ことからこの酵素の働きがガス加熱より活発になり、VC がガス加熱より多く分解された可能性も考えられる。

ii) 焼き調理

甘藷および馬鈴薯の電磁誘導加熱およびガス加熱を用いて焼き調理を行った際の AsA 量、DHA 量およびこれらを足した総ビタミン C (VC) 量を Fig.5 に示した。甘藷のビタミン C 量は新鮮時より電磁誘導加熱では減少傾向が見られ、ガス加熱では減少し、調理操作別ではガス加熱によるものの方が DHA($p<0.01$)、総 VC 量($p<0.05$)とも有意に減少した。

馬鈴薯では AsA 量はどちらの調理操作でも新鮮時より減少したが、調理操作による違いではガス加熱の方が有意に($p<0.05$)多く、DHA 量は新鮮時より両調理操作後で減少したが、加熱操作による差は見られなかった。そのため総 VC 量では電磁誘導加熱で新鮮時より有意な($p<0.05$)減少が見られた。鍋底の温度ムラは電磁誘導加熱の方が大きい¹⁷⁾とされており、今回は甘藷と馬鈴薯では異なる結果となったのは、加熱操作時に甘藷と馬鈴薯の加熱時における鍋底の温度が一定でなかったことも考えられる。

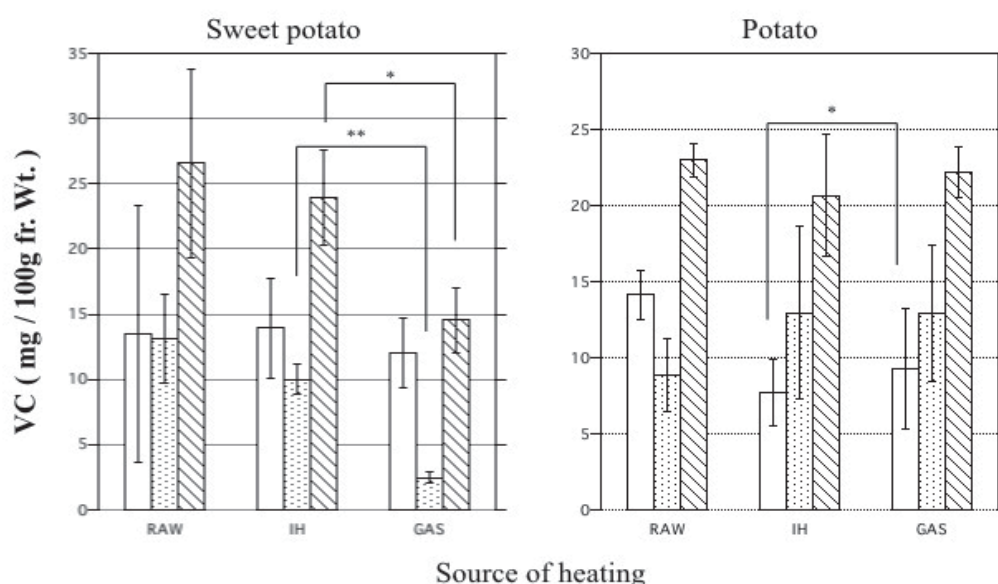


Fig. 5 Changes in VC content of sweet potato and potato after frying

□, AsA ; ▨, DHA ; ▩, Total VC.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, Each Value is the mean \pm SD ($n = 12$)

2) ポリフェノール量

甘藷および馬鈴薯の電磁誘導加熱およびガス加熱を用いて茹で調理を行った際のポリフェノール量をFig.6に示した。

i) 茹で加熱

甘藷では新鮮時より電磁誘導加熱では有意に($p<0.001$)減少したが、ガス加熱ではやや増加し、調理操作別ではガス加熱の方が電磁誘導加熱より有意に($p<0.01$)多かった。これは新鮮時には硬い組織中にあったポリフェノールが、加熱により組織が軟化して組織中のポリフェノールが溶出しやすくなったため、加熱操作後に増加したと考えられる。

馬鈴薯のポリフェノール量は新鮮時より加熱操作後ではどちらも有意に($p<0.001$)減少した。調理操作別ではガス加熱の方が電磁誘導加熱より有意に($p<0.05$)多く残存しており、甘藷とは異なり馬鈴薯のポリフェノールは水中に溶出してしまったとも考えられる。甘藷、馬鈴薯とも電磁誘導加熱でポリフェノール量が少ないのはVCで述べたのと同様に電磁誘導加熱による水流はガス加熱より大きいいため、水中へポリフェノールがより多く溶出したとも予想された。

ii) 焼き加熱

甘藷では新鮮時より両加熱操作でポリフェノール

量は有意に($p<0.001$)減少した。また、調理操作別ではガス加熱の方が電磁誘導加熱より有意に($p<0.05$)多く残存した。

馬鈴薯のポリフェノールも甘藷と同じ傾向を示し、新鮮時より加熱操作によりどちらの調理操作でも減少したが、加熱操作別ではガス加熱の方が有意に($p<0.05$)多く残存していた。焼き加熱ではポリフェノールの水中への溶出は無いため、加熱により組織中のポリフェノールが分解されたと考えられる。馬鈴薯にはポリフェノールおよびポリフェノールオキシダーゼが多く存在しており¹⁸⁾、切断により空気と触れ、茹で加熱時は水中にあるが、焼き加熱では空気に触れたまま加熱され、温度の上昇で酵素が失活するまでに酵素が働くとも考えられる。ポリフェノールはポリフェノールオキシダーゼによりキノンに酸化し、このキノンがAsAを酸化するとされている。甘藷、馬鈴薯ともポリフェノール量は茹で加熱、焼き加熱とも電磁誘導加熱で減少すなわちキノンに酸化したと考えると甘藷の焼き加熱以外でVC量がガス加熱の方が多かったことと矛盾はなかった。鍋底と試料は密着しており、熱伝導が茹で加熱とは異なり接している面から伝わるが、甘藷と馬鈴薯に含まれる食品成分の熱伝導率が異なること¹⁹⁾も影響したとも考えられる。

3) DPPH ラジカル捕捉活性

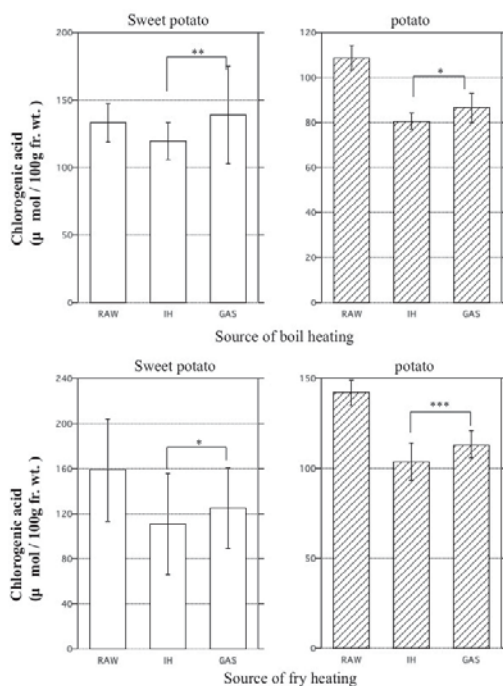


Fig.6 Changes in polyphenol content of sweet potato and potato after boiling and frying
* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, . Each Value is the mean \pm SD. (n = 12)

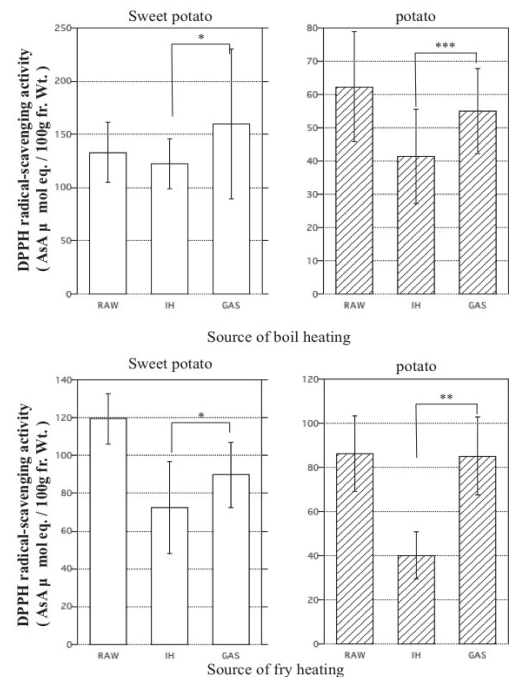


Fig.7 Changes in DPPH radical-scavenging activity of sweet potato and potato after boiling and frying
* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, . Each Value is the mean \pm SD. (n = 12)

甘藷および馬鈴薯の電磁誘導加熱およびガス加熱を用いて茹で調理を行った際の DPPH ラジカル捕捉活性を Fig.7 に示した。

i) 茹で加熱

甘藷のラジカル捕捉活性はガス加熱では新鮮時と差は見られなかったが、加熱操作別で見るとガス加熱の方が電磁誘導加熱よりも有意に($p<0.05$)活性が高かった。

馬鈴薯では加熱操作によりどちらの加熱操作でも活性が低くなる傾向がみられたものの、甘藷同様、ガス加熱の活性が有意に($p<0.001$)高かった。

これは、甘藷と馬鈴薯の茹で加熱後に VC 量およびポリフェノール量がガス加熱の方が高く、甘藷と馬鈴薯の加熱後の VC 量に大きな差はなかったが、ポリフェノール量は馬鈴薯の方が加熱後により少なく、DPPH ラジカル捕捉活性は VC よりポリフェノールの寄与率が高いことから、今回の活性の高さが甘藷の 3~4 割にとどまったと考えられる。

ii) 焼き加熱

甘藷はどちらの加熱操作後でも活性は低くなったが、操作別ではガス加熱の方が有意に($p<0.05$)高かった。又、馬鈴薯はガス加熱の方が有意に($p<0.01$)活性が高く、新鮮時とほぼ等量の活性を示した。

甘藷の VC 量およびポリフェノール量をみると VC 量は電磁誘導加熱で多かったが、ポリフェノール量はガス加熱で多かったため、DPPH ラジカル捕捉活性は、やはりポリフェノールの影響を大きく受けたと考えられた。馬鈴薯は VC、ポリフェノール量のともにガス加熱で多く、ここでもポリフェノール量の DPPH ラジカル捕捉活性への寄与率の高さがこのような結果になったと考えられた。

(2) 茄子

茄子の VC 量、ポリフェノール量および DPPH ラジカル捕捉活性を Fig.8 に示した。

1) VC 量

茄子の VC 量は両加熱操作後に減少したが、操作別で有意差は見られなかった。茄子の VC 量は新鮮時でもそれほど多くはなかったが、AsA および DHA の割合が電磁誘導加熱とガス加熱とも同じような傾向を示した。

2) ポリフェノール量

茄子は甘藷および馬鈴薯よりもポリフェノール量が多く、新鮮時より加熱操作後に減少傾向にあったが、加熱操作別ではガス加熱が有意に($p<0.01$)多く、VC 量の変化とは異なっていた。

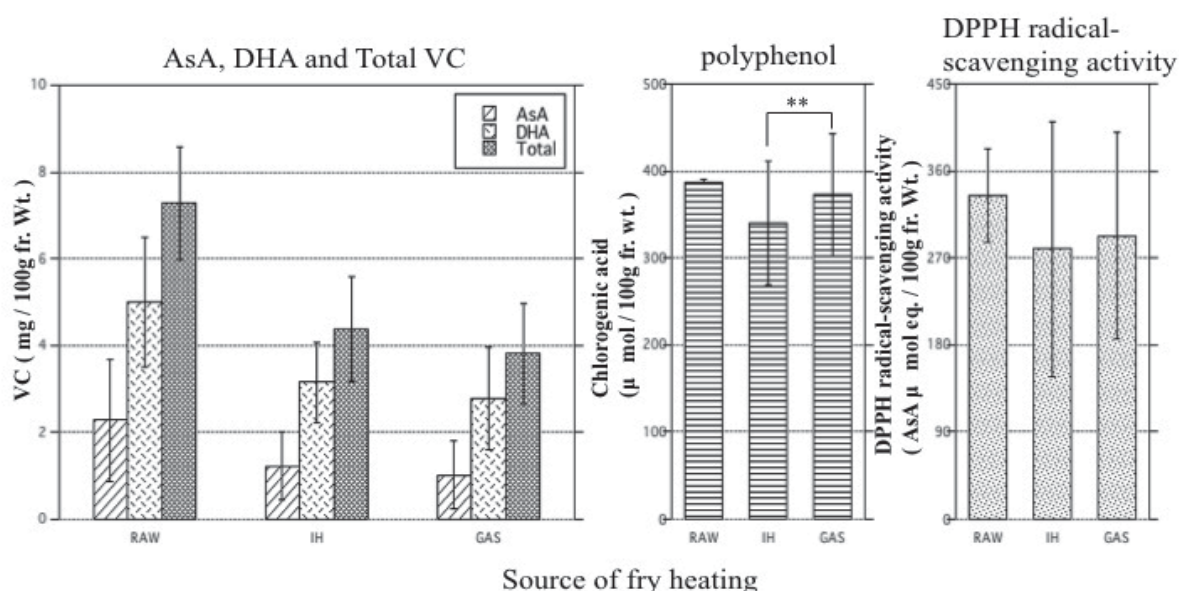


Fig. 8 Changes in VC content, polyphenol content and DPPH radical-scavenging activity of eggplant after frying

** $p < 0.01$, Each Value is the mean \pm SD (n = 12)

3) DPPH ラジカル捕捉活性

加熱後の茄子の DPPH ラジカル捕捉活性は新鮮時より活性が低くなる傾向が見られたが、加熱操作別では結果にばらつきが見られ、有意差は見られなかった。しかし、甘藷や馬鈴薯のポリフェノール量の倍以上あったため、DPPH ラジカル捕捉活性もそれらより著しく高くなったと考えられる。

茹で加熱および焼き加熱操作で甘藷、馬鈴薯、茄子で VC 量やポリフェノール量の変化に違いが見られた。これは甘藷が芋でも根の部分に当たるのに対して馬鈴薯は塊茎であり、アミロプラストによる貯蔵デンプンの複粒と単粒の違いがあり、VC はデンプンに囲まれて存在していること、ストレスを強く受けるかどうかなど違いがあるなど様々な原因が考えられる。さらに今回の実験で使用した鍋は鉄製で熱伝導率は銅・アルミニウムより悪くステンレスより勝っていること、電磁誘導加熱では電気抵抗率がステンレスより劣るが、銅・アルミニウムより勝るとされていること¹⁹⁾などからステンレス製の鍋あるいは他の素材の鍋を使用し、茹で加熱と焼き加熱を行うと結果が異なることも予想された。電磁誘導加熱は今後も一般家庭で広まっていくと考えられるが、調理における消費エネルギーは調理に使用する鍋などの条件により大きくなることもある²⁰⁾。そのため、電磁誘導加熱による加熱調理を行う際には、使用する鍋の素材、大きさや茹で加熱では使用する水量、調理素材の大きさなどを考慮して行うことが必要となってくる。また、電磁誘導加熱は電磁波を生じるため人の身体への影響も危惧されているが、現時点では大問題として取り扱われておらず、調理作業中の注意喚起もないが、今後の研究課題の一つになるであろう。

4. 要約

- (1) 甘藷および馬鈴薯の茹で加熱では VC、ポリフェノール量はガス加熱の方が残存率が高く、DPPH ラジカル捕捉活性も高かった。
- (2) 馬鈴薯の焼き加熱はガス加熱の方が VC およびポリフェノール量の残存率が高く DPPH ラジカル捕捉活性も高かった。
- (3) 茄子は VC 量が新鮮時より少ないがポリフェノール量は調理前後を通して多く、そのため DPPH ラジカル捕捉活性も高くなったと考えられた。

引用文献

- 1) 丹羽悠輝, 森山三千江, 大羽和子: 真空調理に伴う植物性食品の抗酸化機能成分の変化, 日調科誌, **40**, 257-265 (2007)
- 2) 高橋節子, 内藤文子, 佐藤之紀, 内藤博, 田中直義, 野口駿: 真空調理法が鶏ささみ肉の物性に及ぼす影響, 家政誌, **45**, 123-130 (1994)
- 3) 西念幸江, 柴田圭子, 安原安代: 鶏肉の真空調理に関する研究 (第 1 報) 真空調理と茹で加熱した鶏肉の物性および食味, 家政誌, **54**, 591-600 (2003)
- 4) 西念幸江, 柴田圭子, 安原安代: 鶏肉の真空調理に関する研究 (第 2 報) チルド保存期間及び再加熱と鶏肉の物性、食味との関わり, 家政誌, **54**, 867-878 (2003)
- 5) Nishimura, K., Miyamoto, Y., & Higawa, T.: Tender chicken breast vacuum-cooked at 75°C, J. Home econ. Jpn. **55**, 605-615 (2004)
- 6) 小出あつみ, 山内知子, 大羽和子: 鶏肉の貯蔵・加熱調理に伴うヒスチジン含有ジペプチド (アンセリン・カルノシン) および DPPH ラジカル捕捉活性の変化, 日調科誌, **40**, 397-404 (2007)
- 7) 田村朝子, 佐々木舞, 木下伊規子, 鈴木一憲: 真空包装がジャガイモの煮くずれに及ぼす影響, 日調科誌, **39**, 296-301 (2006)
- 8) 森山三千江, 桑原正典: 糖質の違いによる真空調理に伴う芋類の機能性成分・物性・嗜好性の変化, 愛知学泉大学・短期大学研究論集, **45**, 69-77 (2010)
- 9) 神田知子: スチームコンベクション調理と真空調理の野菜の煮物の品質について, 日調科誌, **47**, 230-232 (2014)
- 10) 石塚盈代, 大菅洋子, 乗京逸夫: 調理熱機器の特性比較, 日調科誌, **24**, 96-102 (1991)
- 11) 吉田弘子, 林裕美, 林秀之, 三成由美: ガス加熱と電磁誘導加熱による湿式加熱特性の比較, 食生活誌, **20**, 178-186 (2009)
- 12) 平塚広, 竹野健次, 渡辺昌規, 佐々木健: 電磁鍋加熱中の水質変化, 日食工誌, **4**, 91-98, (2003)
- 13) Yasui, Y. and Hayashi, M.: Simultaneous determination of ascorbic acid and dehydroascorbic acid by high performance liquid chromatography, *Anal Sci.*, **7**, 125-128 (1991)

- 14) 石田裕:野菜の色の測定, 調理科学, **26**, 378-384 (1993)
- 15) 藤江歩巳, 久保田真紀, 梅村芳樹, 大羽和子 :新鮮ハーブのビタミンC 量、DPPH ラジカル捕捉活性およびポリフェノール, 日調科誌, **34**, 380-389 (2001)
- 16) 大羽和子:新鮮野菜のアスコルビン酸オキシダーゼ, 日調科誌, **29**, 120-124 (1996)
- 17) 杉山久仁子:調理用熱源についてガスこんろと IH ヒーターの比較検討, 日調科誌, **40**, 109-112 (2007)
- 18) 村田容常, 本間清一:ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御-最新の研究動向, 日食工誌, **45**,177-184,(1998)
- 19) 杉山久仁子:加熱調理と熱物性, 日調科誌, **46**, 299-303 (2013)
- 20) 遠藤瑤子, 香西みどり:温度制御型 IH システムを用いた根菜類の最適調理条件の予測, 家政誌, **64**, 125-135 (2013)