研究ノート

低温スチーム加熱が野菜中のアスコルビン酸含量に及ぼす影響[†]

豊泉友康*, 神谷径明, 望月麻衣

静岡県農林技術研究所

Use of Low Temperature Steaming to Maintain Ascorbic Acid Contents in Vegetables

Tomoyasu Toyoizumi*, Michiaki Kamiya and Mai Mochizuki

Shizuoka Prefectural Research Institute of Agriculture and Forestry, 678-1 Tomigaoka, Iwata, Shizuoka 438-0803

The present study aimed to clarify the effect of steaming temperature on ascorbic acid (AsA) contents and the characteristics of low temperature steaming (LTS) method, compared to LTS under vacuum and boiling as cooking methods. We analyzed the total AsA contents in sweet potato, broccoli and potato subjected to 60–90°C steaming conditions. The results showed that steaming at low temperature resulted in low AsA loss. In addition, we analyzed the total/reduced AsA and antioxidant properties in the three vegetables treated with LTS, LTS under vacuum and boiling. These analyses demonstrate that LTS is able to achieve low AsA loss and has greater utility than boiling. (Received Feb. 5, 2016; Accepted Apr. 7, 2016)

Keywords : low temperature steaming, sweet potato, broccoli, potato, ascorbic acid

キーワード : 低温スチーマー, サツマイモ, ブロッコリー, ジャガイモ, アスコルビン酸

アスコルビン酸（以下、AsA と省略）は、ヒトの生体機能維持に必須の栄養成分であるが、生体内での合成が不可能であるため、食品からの摂取が必要となる。また、最近では健康増進に繋がる3次機能の面でも注目されており、がん¹⁾や白内障²⁾の発症予防効果などが報告されている。

野菜は日常的に喫食する食品であり、AsAの摂取源として重要である。しかし、日本人の成人の野菜摂取量は年々減少しており、2013年には健康日本21が示す目標摂取量の350g/日以上を大きく下回る283.1g/日となっている³⁾。これに加え、加齢に伴う身体能力低下が食事摂取量の減少に繋がる可能性もあり⁴⁾、超高齢社会を迎える我が国にとって野菜のもつAsAの効率的な摂取が益々望まれている。

野菜中のAsAは、調理加工の過程で加熱分解されたり、煮汁中に溶出しやすいため、その損失を抑える調理加工の選択が効率的な摂取を進める上で極めて重要となる。低温スチーマーは、95℃未満の飽和水蒸気で蒸し加工でき⁵⁾、厳密な温度調節も可能であることから、AsAの保持が期待される。この加工機器の利用により、コマツナ、ホウレンソウおよびシュンギクでは、30から60℃の温度領域でAsAの損失が小さくなる⁶⁾。また、ニンジンでは、70℃の蒸し加熱が90℃と比較してAsAの損失が小さいと報告されている⁶⁾。しかし、その他の喫食頻度の高い野菜では、限定的な温度条件での報告に留まっている。そのため、低温

スチーマーによるAsAの保持効果を明らかにすることは、加工損失を抑えた素材開発において有用な知見になる。

近年、低温スチーマーは真空包装と併用（以下、真空調理）して利用されることも多い。真空調理は、低温スチーム単独処理と比較して、AsAのような抗酸化成分の酸化や損失が小さいため、有用と考えられるが、比較検証した報告はない。また、一般的な調理法である沸騰水処理と低温スチーム処理を比較した知見も、限定的な食材での報告に留まっている⁶⁾。そのため併せて検証することで、低温スチーム処理によるAsA保持効果をより明確化でき、消費者や食品企業に対して有益な情報になり得る。

そこで、本研究は、AsA含有量の多いサツマイモ、ブロッコリーおよびジャガイモを用いて、低温スチーマーの加熱温度が野菜中のAsA含量に及ぼす影響と、真空調理および沸騰水処理と比較した際の低温スチーム加熱の特性を明らかにすることを目的として、AsA含量および抗酸化性を評価した。

1. 実験方法

(1) 供試材料

サツマイモ、ブロッコリーおよびジャガイモは、静岡県磐田市内のスーパーマーケットで購入した。

(2) 材料の加熱処理

ジャガイモおよびサツマイモは、皮を剥き、10mm幅の

〒438-0803 静岡県磐田市富丘 678-1

*連絡先 (Corresponding author), tomoayasul_toyoizumi@pref.shizuoka.lg.jp

図1 低温スチーム処理した際のサツマイモ、ブロッコリーおよびジャガイモの芯温の変化

■は90℃処理区、●は80℃処理区、◆は70℃処理区、▲は60℃処理区を示す。
各処理区は、3片の平均値±標準偏差を表す。

輪切りにした。一方、ブロッコリーは、花蕾および花茎を含む房単位に切り分けた。切り分けた各野菜は、低温スチームの加熱温度を変えた際の総 AsA 残存量を評価するため、未処理および低温スチーム処理区（60, 70, 80 および 90℃・15 分処理）に分けて処理し、総 AsA 測定に供した。更に、調理法における低温スチームの有用性を明らかにするため、未処理、低温スチーム処理（90℃・15 分）、真調理（90℃・15 分）および沸騰水処理（15 分）区に分けてそれぞれ処理し、総 AsA、還元型 AsA および 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl（以下、DPPH と省略）ラジカル捕捉活性測定に供した。なお、試験では、各区 5 片の試料を供した。

低温スチーム（QTS-23HTA、福島工業）から発生する飽和水蒸気は、40 から 95℃で温度調節できるが、95℃設定では各野菜の芯温を 95℃一定にできなかったため、設定値と同温にできる 90℃を最高温度とした。また、今後の食品加工での利用を考慮し、野菜表面の付着菌（一般細菌）に対して殺菌効果が期待できる 60℃を最低温度とした。なお、処理開始時刻は、データロガー（GL220、グラフテック）に接続した熱電対温度計で芯温が設定値に達した時間とした（図1）。本研究におけるブロッコリーの芯温は、花茎温度とした。

真調理は、各野菜を真空包装機（JUMBO PLUS、ニチワ電機）で包装した後、低温スチームで加熱した。なお、真空包装用パックは、共押出多層フィルム（ナイロン/ポリエチレン、三菱樹脂）を用いた。

(3) AsA 測定

処理した試料は 5w/v% メタリン酸中で摩砕抽出した後、福場らの報告⁷⁾を参考に総 AsA および還元型 AsA を定量した。定量は、標準品（AsA、和光純薬工業）との直接比較により実施した。

(4) DPPH ラジカル捕捉活性の測定

処理した試料は 5w/v% メタリン酸中で摩砕抽出した後、山田らの報告⁸⁾を参考に DPPH ラジカル捕捉試験で抗酸化性を評価した。抗酸化性は、AsA 標準品との直接比

較により数値化し、湿重量（g）当たりの AsA 当量（mg）で表した。

(5) 統計解析

低温スチームの温度変化の影響を評価した実験では、各区の総 AsA の平均値について、未処理区と低温スチーム処理区との間で、分散性を評価した後、有意水準 5% で Dunnett 検定（両側検定）をした。

調理法の違いによる低温スチームの有用性を評価した実験では、各区の総および還元型 AsA の平均値について、分散性を評価した後、有意水準 5% で Tukey の HSD 検定（両側検定）をした。また、各区のラジカル捕捉活性の平均値について、低温スチーム処理区と真調理区との間で、分散性を評価した後、有意水準 5% で student's *t* 検定（両側検定）をした。

2. 実験結果および考察

(1) 低温スチーム加工時の温度の違いが AsA 含量に及ぼす影響

低温スチームの加熱温度の違いが AsA 残存量に及ぼす影響を明らかにするため、60 から 90℃の温度条件でサツマイモ、ブロッコリーおよびジャガイモを低温スチーム処理し、総 AsA 含量を測定した（表1）。その結果、いずれの野菜も低い温度処理条件で高い含量を示したが、減少率には差があった。また、ブロッコリーを除く 2 素材において、60℃処理区では、未処理区と比較し有意な減少は認められず、生素材に近い含量を保持した。この結果は、糊化したデンプンが細胞外への AsA の流出を小さくしたためと考えられる^{9)~11)}。

低温スチーム処理温度の上昇に伴い、サツマイモおよびブロッコリー中の AsA 含量は大きな減少を示した。特にサツマイモでは、70℃処理区で著しい減少が認められた（53% 減）。60 および 70 の温度帯では、サツマイモ中のペクチンメチルエステラーゼが活性化し、ペクチンの硬化現象が起こる¹²⁾。この現象および上述の糊化デンプンの硬化により 60℃処理区では、細胞内の AsA の流出が小さくなった可能性がある。一方、70℃処理区は、ペクチンのβ-

表 1 低温スチーム処理の温度が総 AsA 含量に及ぼす影響

野菜	低温スチーム 処理温度 (℃)	個体数 (片)	総 AsA (10^{-2} mg/g)		減少率 ¹⁾ (%)
			平均±標準 偏差	標準 偏差	
サツマイモ	0 (未処理)	5	33.3±3.8		—
	60	5	30.0±3.0		10
	70	5	15.8±4.2**		53
	80	5	14.5±3.2**		56
	90	5	17.4±3.3**		48
ブロッコリー	0 (未処理)	5	113.8±4.0		—
	60	5	80.5±6.2**		29
	70	5	65.8±7.9**		42
	80	5	62.7±5.7**		45
	90	5	56.1±4.4**		51
ジャガイモ	0 (未処理)	5	25.4±1.2		—
	60	5	20.9±3.6		17
	70	5	19.5±3.3**		22
	80	5	17.3±2.6**		31
	90	5	17.1±1.5**		32

¹⁾ 未処理区と比較した減少率を示す。

**：未処理区と比較して 1% 水準で有意な差が認められた (Dunnet 検定, 両側)。

表 2 加工調理法の違いが総 AsA に及ぼす影響

処理区	個体数 (片)	総 AsA (10^{-2} mg/g)		
		サツマイモ	ブロッコリー	ジャガイモ
		平均±標準 偏差	平均±標準 偏差	平均±標準 偏差
未処理	5	60.4±1.3 ^a	72.4±3.7 ^a	18.0±0.6 ^a
低温スチーム	5	36.1±4.0 ^c	32.7±2.6 ^b	13.1±1.1 ^b
真空調理	5	48.5±3.4 ^b	71.1±2.2 ^a	14.3±0.5 ^b
沸騰水	5	18.4±2.5 ^d	13.3±4.2 ^b	12.9±1.1 ^b

異符号間に 5% 水準で有意な差が認められた (Tukey-HSD 検定, 両側)。

脱離による軟化が 60℃ 処理区より進行すると推察されるため、硬化による溶出保護効果が弱まり、AsA の大きな流出に繋がったのかもしれない。更に、サツマイモ中の AsA の酸化分解に大きく関与するカテコールオキシダーゼ (以下, CO) は、至適温度帯が 30℃ 付近であるが、活性が 60℃ 加熱でも 80% 近く残存し、高い耐熱性を有す¹³⁾。このことも大きな減少の要因と考えられる。90℃ 処理区 (48% 減) では、80℃ 処理区 (56% 減) よりも高い AsA 含量を示したが、これはアスコルビン酸オキシダーゼや CO が熱により失活し、酸化分解量が減少したためと考えられる。ブロッコリーでは、デンプン等の溶出を防ぐ成分がないため、加熱温度の上昇により、細胞壁や膜の透過性が高まり、細胞内の AsA が野菜表面に付着した低温スチームの水滴に多く溶解し、大きな減少に繋がったと考えられる。また、本研究では花茎の芯温が設定値に達した時間を開始時刻とし、一定時間低温スチーム処理した。花茎と比較し花蕾は、蒸気との接触面が大きいため、熱伝導度が高いと推測され

る。従って、このことも AsA の大きな溶出に対する要因と推察している。

豊富なデンプンを有すジャガイモは、同様の性質をもつサツマイモと似た減少傾向を示すと考えられたが、温度上昇に伴う減少は緩やかであった (表 1)。これは、サツマイモと比較して酸化分解に関わる酵素活性が低いこと¹³⁾、更にデンプンの糊化温度が低いことが、AsA の分解および流出をより小さくしたと考えられる¹¹⁾。

(2) 調理法の違いが AsA 含量に及ぼす影響

低温スチームの AsA 保持効果を評価するため、真空調理区と比較した (表 2)。その結果、低温スチーム処理区はいずれの野菜も低い含量を示し、サツマイモおよびブロッコリーにおいては有意に低かった。しかし、ジャガイモにおいては、デンプンの保護作用により⁹⁾¹¹⁾、真空調理との差が小さくなったと考えられる。サツマイモは、ブロッコリーと比較して、低温スチーム処理区と真空調理区の差が小さいが、これはジャガイモと同様、デンプンによる保護

表 3 低温スチーム加工および真空調理した野菜の還元型 AsA の比較

処理区	個体数 (片)	サツマイモの還元型 AsA		ブロッコリーの還元型 AsA		ジャガイモの還元型 AsA	
		含量 (10^{-2} mg/g)	割合 ¹⁾	ブロッコリー	割合 ¹⁾	ジャガイモ	割合 ¹⁾
		平均±標準 偏差	(%)	平均±標準 偏差	(%)	平均±標準 偏差	(%)
未処理	5	39.6±1.9 ^a	66	66.3±3.5 ^a	91	11.8±0.8 ^a	66
低温スチーム	5	31.5±3.9 ^b	87	29.9±1.7 ^b	91	10.2±1.0 ^b	78
真空調理	5	42.4±4.0 ^a	88	68.9±2.0 ^a	97	12.1±0.9 ^a	85

異符号間に 5% 水準で有意な差が認められた (Tukey-HSD 検定, 両側).

¹⁾ 総 AsA 含量に占める還元型 AsA の割合を示す.

表 4 低温スチーム加工および真空調理した野菜の DPPH ラジカル捕捉活性の比較

処理区	個体数 (片)	DPPH ラジカル捕捉活性 (10^{-2} mg/g)		
		サツマイモ	ブロッコリー	ジャガイモ
		平均±標準 偏差	平均±標準 偏差	平均±標準 偏差
低温スチーム	5	11.6±2.7	28.9±1.1	11.5±1.0
真空調理	5	18.1±1.2 ^{**}	47.7±0.9 ^{**}	13.1±1.2

^{**}: 低温スチーム処理区と比較して 1% 水準で有意な差が認められた (Student's *t* 検定, 両側).

作用が働くためと推察される. これらの結果から, デンプン質の多い野菜では, 低温スチーマー単独の利用だけであっても約 60% 以上の AsA の保持ができ, かつ真空包装資材が不要な点で真空調理より低コストであるため, 有用と考えられる.

AsA は還元型と酸化型に大別され, 還元型の AsA は, 調理加工での加熱ストレスにより野菜中で合成が促進される可能性がある⁶⁾¹⁴⁾. そこで, その影響を評価するため, 低温スチーム処理区および真空調理区の還元型 AsA 含量および DPPH ラジカル捕捉活性を評価した. その結果, 還元型 AsA 含量については (表 3), 未処理区と比較して, 低温スチーム処理区が, いずれの野菜においても有意に低い含量を示した. 一方, 真空調理区は, いずれも有意な増加が認められなかったが, 増加傾向を示した. また, 還元型 AsA/総 AsA が未処理区に比較して, 真空調理区で高く (表 3), これは加熱ストレスにより細胞内での還元型 AsA の合成誘導がされたことに基づくと考えられている. 一方, 低温スチーム処理区でも同様に誘導されると考えられるが, 合成量よりも細胞外への溶出量の方が大きいため, 未処理区より有意に低値を示したと推察される. また, いずれの野菜においても, 真空調理区の方が, 低温スチーム処理区と比較して, 有意に高い含量を示した. この結果は, DPPH ラジカル捕捉活性の結果でも同様の傾向であった (表 4). したがって, 真空調理は, 低温スチーム処理と比較して高コストとなるが, 加工中新たに合成される AsA を含めて, 抗酸化成分の損失が小さく, それら成分の効率的な摂取の面から優れた技術といえる.

山崎らは, 低温スチーム処理が沸騰水処理よりも総 AsA の保持含量が高いことをサツマイモおよびジャガイモで明らかにしている⁶⁾. 本研究では, これにブロッコリーも加え, 沸騰水処理と比較した際の低温スチーム処理の総 AsA 保持効果を評価した. その結果, 山崎らの報告と同様に⁶⁾, 低温スチーム処理の方が高い保持含量を示した (表 2). 長田らの研究では, ブロッコリーの沸騰水処理区がスチームコンベクション (以下, スチコンと省略) による蒸し加工処理区よりも高い総 AsA の保持含量を示した¹⁵⁾. 蒸し加工による AsA の損失メカニズムは, 野菜表面に付着したスチームの水滴に細胞内の AsA が溶解し, それが落下することと考えられる. スチコンのスチームは, 低温スチーマーと異なり庫内で攪拌されるため¹⁶⁾¹⁷⁾, AsA が溶出した水滴がより落下しやすい. これが大きな損失に繋がり, 本結果との乖離になったものと推察される. また, ジャガイモは, 糊化温度の低いデンプンによる強い保護作用が働き¹¹⁾, 他の 2 素材より沸騰水処理との差が小さくなったと考えられる. ジャガイモの AsA が流出しやすい調理条件で, かつ処理温度も高い沸騰水処理区 (約 100℃) と, 低温スチーム 90℃ 処理区で差が認められなかった本結果からも, この保護効果は非常に強いものといえる. 以上より, ジャガイモを除き, 低温スチーム加熱は, 沸騰水処理と比較して AsA のような水溶性の高い物質の溶出を防ぐ上で有用である.

本研究は, 一定の処理温度で真空調理したが, 低温スチームなどの温度可変な機器を加熱時に活用することで, AsA の残存量をより高められる可能性がある (表 1). しかし,

表 5 低温スチーム処理による AsA および抗酸化性に対する影響のまとめ

野菜	低温スチーム処理温度の上昇による AsA の損失量	真空調理および沸騰水処理との有用性の比較			
		総 AsA		還元型 AsA	抗酸化性
サツマイモ	大	真空>	沸騰<	真空>	真空>
ブロッコリー	大	真空>	沸騰<	真空>	真空>
ジャガイモ	中	真空>	沸騰≒	真空>	真空≒

真空：真空調理，沸騰：沸騰水処理を示す。

吉村らのジャガイモの研究では、80℃での真空調理が、90 または 100℃での真空調理と比較して、ジャガイモ中の AsA の損失が大きいと報告されている¹⁸⁾。故に、今後詳細な検討が必要と考えている。

(3) 総括

以上のことから（表 5）、各野菜がもつ性質の違いで AsA の減少量に差はあるが、低温スチーム処理は、温度調整により AsA 残存量を高められるため、AsA の効率的な摂取に貢献する一次加工素材開発で有用な技術となる。

また、低温スチーム処理は、沸騰水処理と比較して、AsA 含量の保持が可能であるが、その効果は真空調理の方が高かった。しかし、低温スチーマーは包装資材を使用することなく、ある程度 AsA を保持できることを考慮すると、低コストで利用価値の高い技術と考えられる。

3. 要 約

本研究は、低温スチーマーの加熱温度の違いが野菜中のアスコルビン酸含量に及ぼす影響と、真空調理および沸騰水処理と比較した際の低温スチーム加熱の特性を明らかにすることを目的とした。

60 から 90℃の温度条件で低温スチーム処理したサツマイモ、ブロッコリーおよびジャガイモの総 AsA を測定した結果、いずれも低温で加熱することでその保持含量が高まった。サツマイモおよびブロッコリーでその傾向は顕著であった。

総 AsA、還元型 AsA および DPPH ラジカル捕捉活性を指標に真空調理および沸騰水処理と比較した結果、低温スチーム処理は、沸騰水処理よりも、総 AsA 含量の保持が可能であったが、真空調理の方が還元型および抗酸化性も含めて保持効果が優れていた。

以上のことから、各野菜がもつ性質の違いで AsA の減少量に差はあるが、低温スチーム処理は、温度調整により AsA 残存量を高められるため、AsA の効率的な摂取に貢献する一次加工素材開発で有用な技術となる。更に、低温スチーマーは包装資材なしで、ある程度 AsA を保持できるため、低コストで利用価値の高い技術と考えられる。

文 献

- 1) Namiki, M., Antioxidants/antimutagens in food, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **29**, 273-300 (1990).

- 2) Yoshida, M., Takashima, Y., Inoue, M., Iwasaki, M., Otani, T., Sasaki, S. and JPHC Study Group, Prospective study showing that dietary vitamin C reduced the risk of age-related cataracts in a middle-aged Japanese population. *Eur. J. Nutr.*, **46**, 118-124 (2007).
- 3) 平成 25 年国民健康・栄養調査報告厚生労働省, pp. 68-69 (2015).
- 4) 永井晴美, 地域老人における咀嚼能力と栄養摂取ならびに食品摂取との関連, 日本公衆衛生雑誌, **38**, 853-858 (1991).
- 5) 豊泉友康, 山本寛人, 佐々木麻衣, 低温スチーマーにおける高齢者に適したニンジンの加工条件, 日本食品科学工学会誌, **62**, 341-348 (2015).
- 6) 山崎貴子, 伊藤直子, 岩森 大, 堀田康雄, 村山篤子, 低温スチーミング調理による植物性食品の成分と食味の変化, 日本食生活学会誌, **19**, 193-201 (2008).
- 7) 福場博保, 高居百合子, 太幡利一, 馬場春夫, 岩尾裕之, 食品中のビタミン測定法 (その 5), 栄養学雑誌, **21**, 115-122 (1963).
- 8) 山田未佳, 三鼓仁志, 津崎ゆかり, 三輪尚克, 茶園博人, 山本 格, 糖転移ビタミン P の抗酸化作用と高脂血症マウスにおける酸化ストレス抑制効果, 日本栄養・食糧学会誌, **56**, 355-363 (2003).
- 9) 久保田紀久枝, 桐潤壽子, 甘藷の加熱調理に関する研究 (第 3 報) 甘藷を加熱調理した際のビタミン C の変化, 家政学雑誌, **29**, 144-147 (1978).
- 10) 中村善行, 高田明子, 藏之内利和, 増田亮一, 片山健二, 糊化温度の低いデンプンを含むサツマイモ「クイックスイート」における加熱に伴うマルトース生成の機序, 日本食品科学工学会誌, **61**, 62-69 (2014).
- 11) 竹田千重乃, 檜作 進, でんぶんのこ化 I 各種でんぶんの熱こ化の特徴, 日本農芸化学会誌, **48**, 663-669 (1974).
- 12) 測上倫子, 野菜の加熱とペクチン質, 日本調理科学会誌, **40**, 1-9 (2007).
- 13) 松尾眞砂子, 東 和子, 森本茂美, イモ類に含まれるアスコルビン酸の加熱分解に対する調味料の抑制効果, 日本栄養・食糧学会誌, **39**, 479-483 (1986).
- 14) 中嶋名菜, 坂田春菜, 北野直子, 松添直隆, 白土英樹, 真空調理における調味液添加がジャガイモ (メークイン種) のテクスチャーおよびビタミン C に及ぼす影響, 日本調理科学会誌, **48**, 187-192 (2015).
- 15) 長田早苗, アクアガス加熱の調理加工特性に関する研究, 日本食生活学会誌, **22**, 175-188 (2011).
- 16) 平山一政, 低温スチーミング調理, 日本調理科学会誌, **30**, 381-386 (1997).
- 17) 渋谷祥子, スチームコンベクションオープン, 日本調理科学会誌, **35**, 106-107 (2002).
- 18) 吉村美紀, 生野世方子, 山内直樹, 真空調理されたジャガイモの品質について, 日本食品低温保蔵学会誌, **19**, 173-177 (1993).

(平成 28 年 2 月 5 日受付, 平成 28 年 4 月 7 日受理)