

論 文

スチームコンベクションオーブン調理と真空調理による 水溶性ビタミンの調理損失の比較

—かぼちゃおよび大根の煮物について—

¹神 田 知 子 ²馬 場 千 裕 ²石 田 悠 紀 子
²谷 口 奈 那 恵 ³今 西 恵 里 ³貝 原 智 美
³中 谷 公 美 ³妹 尾 絢 子 ¹小 切 間 美 保
⁴丸 山 智 美 ⁵内 田 真 理 子

¹同志社女子大学・生活科学部・食物栄養科学科・教授

²同志社女子大学・生活科学部・食物栄養科学科・2013年度卒業生

³同志社女子大学・生活科学部・食物栄養科学科・2014年度卒業生

⁴金城学院大学・生活環境学部・食環境栄養学科・教授

⁵龍谷大学短期大学部・こども教育学科・教授

Comparisons of water-soluble Vitamin Losses and Cooking Methods for Pumpkin and Japanese radish (*Daikon*) Cooked with Steam Convection Oven and Vacuum-packed Pouch

¹Tomoko Koda ²Chihiro Baba ²Yukiko Ishida
²Nanae Taniguchi ³Eri Imanishi ³Tomomi Kaihara
³Satomi Nakaya ³Ayako Seno ¹Miho Kogirima
⁴Satomi Maruyama ⁵Mariko Uchida

¹Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Human Life and Science,
Doshisha Women's College of Liberal Arts, Professor

²Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Human Life and Science,
Doshisha Women's College of Liberal Arts, Graduate of 2013

³Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Human Life and Science,
Doshisha Women's College of Liberal Arts, Graduate of 2014

⁴Department of Food and Nutritional Environment, Faculty of Human Life and Environment,
Kinjo Gakuin University, Professor

⁵Child Welfare Course, Ryukoku University Junior College, Professor

Abstract

The purpose of this study is to compare and study water-soluble vitamin losses before and after cooking pumpkin and Japanese radish (daikon) with a steam convection oven (SC cooking) and a vacuum-packed pouch (V-P P cooking). Pumpkin was cut into 2.5 cm cubes and daikon into 2.0 cm cubes. For SC cooking, pumpkin was heated for 15 minutes and daikon for 60 minutes with liquid seasoning. For V-P P cooking, pumpkin and daikon were vacuum-packed with liquid seasoning and heated under the same conditions as SC cooking. For pumpkin, percentages of niacin, folic acid and pantothenic acid in uncooked samples, as well as those cooked by SC cooking and V-P P cooking were compared. For daikon, percentages of vitamins B₁, B₂, B₆ and C, niacin, folic acid and pantothenic acid in uncooked samples, as well as those cooked by SC cooking and V-P P cooking were compared. Setting the percentages of vitamins remained in uncooked samples as 100 %, those in SC and V-P P cooked samples of pumpkin were calculated as follows: niacin 93.1 %, 85.4 %; folic acid 84.0 %, 74.4 %; and pantothenic acid 97.9 %, 89.1 %, respectively. Percentages of vitamins in SC and V-P P cooked samples of daikon were as follows: vitamin B₁ 97.4 %, 94.0 %; vitamin B₂ not detected, not detected; vitamin B₆ 66.6 %, 65.2 %; vitamin C 43.3 %, 52.2 %; niacin 80.0 %, 66.7 %; folic acid 37.7 %, 37.7 %; and pantothenic acid 72.0 %, 65.4 %, respectively.

These results indicated that vitamin losses measured in this study were attributable to the cooking process, suggesting that the degree of vitamin losses due to the cooking process varied according to the characteristics of vitamins and cooking methods.

【緒言】

献立の栄養素量は、日本食品標準成分表¹⁾(以下、食品成分表)に記載されている「生」の食品の栄養価を使用し、その値から算出されていることが多い。しかし食品は調理をすることにより、水溶性ビタミンや一部のミネラルなどに無視できない変化率を示す場合があるため²⁻⁷⁾、食品成分表の栄養価と実際に摂取する食品の中に含まれる栄養素量は必ずしも同じではない。そのため給与栄養目標量に合わせた献立を作成し給食を提供した場合には、たとえ食べ残しがなくとも、摂取栄養素量が給与栄養目標量を下回ることがある。また、食品成分表には調理操作後の栄養価として各食品の「生」の栄養価の他、「ゆで」「蒸し」「焼き」「水さらし」「塩漬け」なども記載されている。これらの調理操作条件は、一般調理(小規模調理)を想定し定められたものであるため¹⁾、調理方法に違いがある大量調理での調理操作後の栄養価は、食品成分表に示されている栄養価と異なる可能性がある。

大量調理の加熱調理方法にスチームコンベクションオープン(以下、スチコン)を用いた調理と真空調理がある⁸⁾。スチコンは、ファンにより熱風を強制対流させるコンベクションオー

ブンと、蒸気加熱によるスチーマー機能の両方を兼ね備えた加熱調理機器である。蒸す、焼く、煮る、煮込む、さらにフライ風、炒め物風など多彩な調理を行うことができ、温度管理が容易で一度に大量に調理できるという特長があることから、スチコンを用いた調理方法(以下、スチコン調理)は大量調理を効率よく行うために適している⁸⁾。一方、真空調理は食材を調味液とともに真空包装後、蒸気、湯煎などで加熱調理を行う調理方法である⁸⁾。95℃を超えると食材や真空フィルム内の水分が水蒸気となってフィルムを膨張させ、フィルムが破裂する恐れがあるため、真空調理は芯温58~95℃で調理を行う⁸⁾。利点として、真空包装することで食材内の空気が抜け調味料が食材に浸透し熱が伝わりやすくなる、使用する調味料は少量で味が均一になるなどが挙げられている⁸⁾。

調理による栄養素の損失の問題は、管理栄養士・栄養士が職務を果たす上で大きな問題を抱えている⁹⁾。佐々木は調理中における栄養素の損失に関する研究は乏しく、実践の上で活用できるほどの信頼度で食品や食品群ごとの調理損失を示す報告は少ないと指摘している¹⁰⁾。また、日本給食経営管理学会と日本フードサービス協会は給食に含まれる栄養成分についての栄養情報提供ガイドを共同で作成しているが、栄

養価については生の食材を用いて計算しており、栄養価計算上の課題が残っている¹¹⁾。大量調理での栄養価計算の精度を高め実践の上で活用するためには、これらの課題を克服することが早急に求められる。特に大量調理に使用される代表的な食材と加熱調理法を用いて、調理された食材の加熱調理後の栄養価を示すことが必要である。

著者らは、大量調理に使用される代表的な食材であるかぼちゃを用いて、これまでほとんど報告がなかった大量調理を想定したスチコン調理と真空調理による煮物調理の栄養素の成分損失を調査し報告した¹²⁾。本研究ではかぼちゃの栄養素のうち、前報¹²⁾で報告していない水溶性ビタミン（ナイアシン、葉酸、パントテン酸）のスチコン調理と真空調理の調理過程での成分損失の比較を行った。さらに、大量調理における煮物の食材として使用頻度の高い大根について、水溶性ビタミン（ビタミンB₁、B₂、B₆、C、ナイアシン、葉酸、パントテン酸）の成分損失をスチコン調理と真空調理で比較検討した。また、大根の加熱調理による調味液へのビタミンの溶出の程度を検討するため、スチコン調理後および真空調理後の調味液中のビタミンC量も測定した。加熱温度が大根の軟化およびビタミンCの調理損失に影響する可能性があるため、スチコン調理中および真空調理中の大根の芯温測定も行った。

一般的にスチコン調理と真空調理の加熱温度は異なるが⁸⁾、本研究では加熱温度による栄養素への影響を取り除くために、かぼちゃ調理、大根調理共に真空調理とスチコン調理とで同じ温度帯で調理を行うこととした。

本研究で得られた結果は、スチコン調理や真空調理で加熱調理された食事の栄養素量を正確に算出する際に有益な資料となるものである。

【方法】

1. 材料

試料として用いるかぼちゃは、年間を通じて入手可能¹³⁾な西洋かぼちゃである「えびすかぼちゃ」（以下、かぼちゃ）を使用した。季節によってかぼちゃの産地が変わるため、実験を行う2013年10、11月に最も市場に出回っていた北海道産¹³⁾を用いた。大根は年間を通して入手可能である「青首大根」（以下、大根）で兵庫県産を使用した。かぼちゃは2013年10月、大根は2014年10月に、京都市内の生鮮食品店（ゑびす屋、榊形商店街）にて購入した。

2. かぼちゃと大根の加熱前試料の調製方法

1) かぼちゃの加熱前試料の調製

かぼちゃは、1個あたり重量2,333~2,802g、周囲径61~67cmの大きさのものを6個使用した（平均重量：2,573g、平均周囲径：63cm）。かぼちゃ6個を2等分し、果皮側より2mmの厚さに果皮部を除去し、更にかぼちゃのへた（上部）、台座（下部）を切り落として除去した。種子をくり抜くように除去し、1辺が2.5cmの立方体、重さ20g（19.8~20.2g）に成形し、これを1ブロックとした。個体差を考慮するため6個のかぼちゃから3ブロックずつ取り、18ブロック（約360g）を1サンプルとした。3つの調理条件（スチコン調理、真空調理、未調理）につき3サンプルずつ調製した。

2) 大根の加熱前試料の調製

大根は1本あたり全長35.0~42.0cm（平均全長：39.3cm）のものを35本使用した。大根の全長の3割を中心部から切り出した後、1辺が2.0cmの立方体、重さ7.9g（7.7~8.0g）に成形し、これを1ブロックとした。個体差を考慮するため35本の大根から2ブロックずつ取り、70ブロック（約550g）を1サンプルとした。3つの調理条件（スチコン調理、真空調理、未調理）につき3サンプルずつ調製した。

3. 調味液の調製方法

1) かぼちゃの調味液

かぼちゃの煮物の調味液は、先行研究¹²⁾と同様に調製した(表1)。

2) 大根の調味液

大根の煮物の調味液(表1)は予備実験にて決定した。予備実験では、21~22歳の女性10人を対象とした官能検査を行った。醤油の味が濃すぎず、かつ大根の風味が感じられると評価された調味割合に決定し、調味液を調製した。

4. かぼちゃと大根の煮物の調製方法

煮物の調製は、スチコン調理と真空調理で行い、いずれの調理もCPC61(RATIONAL社)のスチコンを用いた。

1) スチコン調理

①かぼちゃのスチコン調理

加熱むらを少なくするため、1枚のホテルパン内で3サンプル(18ブロック×3)のかぼちゃを調理した。3サンプルのかぼちゃを先行研究¹²⁾と同様に並べ、試料重量の73%(w/w)の調味液を流し入れたものを準備した。調味液の量はかぼちゃが7割程度浸っている状態であるため、落とし蓋代わりに1サンプル(18ブロック)ごとにリードヘルシークッキングペーパー(ライオン株式会社)を1枚ずつのせ表面を覆った。さらにホテルパンに蓋をして表2の調理条件で加熱した。加熱条件は、先行研究¹²⁾と同様(スチコンの庫内温度120℃で15分間)に行った。スチコン調理後はホテルパンの

蓋を外して、ホテルパンごと30分間水冷した。

②大根のスチコン調理

大根は1サンプルを35ブロックとした。1/2サイズのホテルパン1枚に105ブロック(1.5サンプル分)の大根試料を並べ、試料重量の40%(w/w)の調味液を流し入れたものを2枚準備した。かぼちゃの煮物と同様に、クッキングペーパーと蓋をした状態で加熱した。加熱モードはコンビモードで、スチコンの庫内温度を120℃で20分間加熱した後、庫内温度を100℃に下げ、40分間加熱した(表2)。スチコン調理後はホテルパンの蓋を外して、ホテルパンごと30分間水冷した。

2) 真空調理

真空フィルムは、大きさ20cm×30cm、厚さ70~80μm、旭化成パックス株式会社製を用いた。真空フィルムに試料と調味液を入れ、30秒間真空包装を行った(真空度99.9%)。真空包装には真空包装機V-281(東静電気株式会社)を用いた。真空調理の料理本には、野菜は灰汁を除くために湯通してから真空包装する方法が記載されている^{14,15)}。しかし、湯通しの工程により水溶性ビタミンが損失する可能性があり、スチコン調理と真空調理との調理方法の違いによるビタミン損失の程度を比較することが難しくなると考えられたため、本研究では湯通しを行わず、真空包装した。

①かぼちゃの真空調理

真空フィルムにかぼちゃ(18ブロック)と試料重量の73%(w/w)の調味液を入れ、真空包

表1 かぼちゃおよび大根の煮物に用いた調味液の調製方法

かぼちゃの煮物に用いた調味液	和風だしの素(かつお風味, 味の素株式会社), 濃口醤油(キッコーマン食品株式会社), 上白糖(三井製糖株式会社), 食塩(伯方塩株式会社)をぬるま湯溶かしたもの ぬるま湯に対する調味料の調味割合(w/w)は, 和風だしの素0.4%, 濃口醤油3.3%, 上白糖8.0%, 食塩0.8%である。
大根の煮物に用いた調味液	和風だしの素(かつお風味, 味の素株式会社), 濃口醤油(キッコーマン食品株式会社), 上白糖(三井製糖株式会社)をぬるま湯に溶かしたもの ぬるま湯に対する調味料の割合(w/w)は, 和風だしの素0.27%, 濃口醤油5.67%, 上白糖2.87%である。

スチコン調理, 真空調理共に同じ調味液を使用した。

表2 かぼちゃおよび大根煮物（スチコン調理，真空調理）の調整条件

調理条件	食材	1サンプル	1ブロックの重量	1ブロックに対する調味料の割合	真空包装フィルム1枚に入れるブロックの個数	真空条件	1枚のホテルパンに並べたサンプル数	用いたホテルパンのサイズ	加熱条件
スチコン調理	かぼちゃ	18ブロック	20g(1辺2.4cmの立方体)	73%(w/w)			3サンプル分(18ブロック×3)	縦53.0cm ×横32.7cm ×深さ6.5cm 容量8.3L	コンビモード 庫内温度120°Cで15分
	大根 ^{*1}	70ブロック	7.9g(1辺2.0cmの立方体)	40%(w/w)			1.5サンプル分 105ブロック	縦26.0cm ×横32.0cm ×深さ6.0cm 容量4.0L	コンビモード 庫内温度120°Cで20分 →庫内温度100°Cで40分
真空調理	かぼちゃ	18ブロック	20g(1辺2.4cmの立方体)	73%(w/w)	18ブロック/ フィルム	真空度 99.9%	18ブロック/ フィルム×3フィルム		コンビモード 庫内温度120°Cで15分
	大根 ^{*1}	70ブロック	7.9g(1辺2.0cmの立方体)	40%(w/w)	35ブロック/ フィルム	真空度 99.9%	35ブロック/ フィルム×6フィルム		コンビモード 庫内温度120°Cで20分 →庫内温度100°Cで40分

スチコン調理後はホテルパンの蓋をはずして、ホテルパンごと30分間水冷した(中心温度は20°C付近まで冷却)。
真空調理後は、真空フィルムを開封し、試料をバットに移して、バットごと30分間水冷した(中心温度は20°C付近まで冷却)。
^{*1}大根の加熱調理中の芯温を測定した。

装した。18ブロックずつ真空包装した試料3つを、ホテルパン1枚に横並びに置き¹²⁾、蓋をした後、スチコン調理と同様の条件で加熱した(表2)。真空調理後は真空フィルムを開封し、試料をバットに移して、バットごと30分間水冷した。

②大根の真空調理

真空フィルムに大根35ブロックと大根試料重量の40%(w/w)の調味液を流し入れ、計6フィルム分を真空包装した。加熱開始時のスチコンの庫内温度を120°Cとし、大根のスチコン調理と同様に表2に示す条件で加熱した(表2)。真空調理後は真空フィルムを開封し、試料をバットに移して、バットごと30分間水冷した。

5. 加熱調理中のスチコン調理と真空調理の芯温測定

大根調理において、スチコン調理中と真空調理中の芯温を測定した。芯温は、ハンナ防水型ポータブル温度計 HI 9063 (ハンナインスツルメンツジャパン株式会社)を用い、1分毎に計測した。

6. 大根の加熱前後の調味液の調製

1) 未調理

加熱調理後の大根からの水溶性ビタミンの溶出を調べるため、調味液を400g調製し、分析

用サンプルとした。

2) スチコン調理後の調味液

加熱・冷却終了後、2枚のホテルパン内の煮物を大根試料と調味液に分け、その調味液を混合したうちの400gを分析用サンプルとした。

3) 真空調理の調理方法

加熱・冷却終了後、3つの真空パック内の煮物を大根試料と調味液に分け、その調味液を混合したうちの400gを分析用サンプルとした。

7. ビタミンの分析項目と方法

ビタミン分析は食品成分表に準ずる測定方法で、株式会社ファルコバイオシステムズ(京都)に依頼した。かぼちゃ、大根、大根の調味料の分析項目を表3に示した(表3)。

1) 計算方法

①調理後の各ビタミン含有量

スチコン調理後、真空調理後の試料中の各ビタミン含有量は、未調理のかぼちゃ、又は未調理の大根100gあたりに換算して示した。

②調理後の各ビタミンの残存率

スチコン調理後、真空調理後の試料中の各ビタミンの残存率は、未調理のかぼちゃ、又は未調理の大根100gあたりのビタミン含有量を100%としたときの調理後のビタミン含有量の割合で表した。計算には3サンプルの平均値を用いた。

③大根調理後の調味液に含まれるビタミンC

表3 ビタミンの分析項目

分析項目	備考(分析成分、方法など)	試料		
		かぼちゃ	大根	大根の加熱前後の調味液
ビタミンB ₁	チアミン	文献12で測定	測定	-
ビタミンB ₂	リボフラビン	文献12で測定	測定	-
ナイアシン	ニコチン酸相当量, トリプトファン考慮なし	測定	測定	-
ビタミンB ₆	微生物定量法(使用菌株 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (S. uvarum) ATCC 9080)	文献12で測定	測定	-
葉酸	微生物定量法(使用菌株 <i>Lactobacillus rhamnosus</i> ATCC 7469)	測定	測定	-
パントテン酸	微生物定量法(使用菌株 <i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC 8014)	測定	測定	-
ビタミンC	L-アスコルビン酸とL-デヒドロアスコルビン酸の合計	文献12で測定	測定	測定

かぼちゃ(未調理, スチコン調理, 真空調理)と大根(未調理, スチコン調理, 真空調理)は、それぞれ3サンプルずつ分析に供した。大根の調味液は、加熱前, スチコン調理後, 真空調理後の調味液をそれぞれ400g分析に供した。

表4 調理前後のかぼちゃと大根の煮物における試料中のビタミン含有量と残存率

試料 (加熱条件)	ビタミン	未調理		スチコン調理		真空調理		一元配置 分散分析	食品成分表 を用いて 算出した 残存率(%)
		ビタミン含有量*1		ビタミン含有量*1	残存率*2(%)	ビタミン含有量*1	残存率*2(%)		
かぼちゃ (庫内温度 120°Cで15分)	ビタミンB ₁ (mg/100g)**4	0.050 ± 0.000 ^a	0.048 ± 0.000 ^b	96.0	0.045 ± 0.000 ^c	90.0	p<0.05	98	
	ビタミンB ₂ (mg/100g)**4	0.070 ± 0.000 ^a	0.060 ± 0.000 ^b	85.7	0.056 ± 0.000 ^c	80.0	p<0.05	87	
	ナイアシン(mg/100g)	1.30 ± 0.06 ^a	1.21 ± 0.08 ^{ab}	93.1	1.11 ± 0.04 ^a	85.4	p<0.05	98	
	ビタミンB ₆ (mg/100g)**4	0.250 ± 0.000 ^a	0.197 ± 0.000 ^b	78.8	0.194 ± 0.000 ^b	77.6	p<0.05	85	
	葉酸(μg/100g)	25.0 ± 1.0 ^a	21.0 ± 0.6 ^b	84.0	18.6 ± 0.6 ^c	74.4	p<0.01	89	
	パントテン酸(mg/100g)	0.520 ± 0.030	0.510 ± 0.020	97.9	0.460 ± 0.040	89.1	p=0.13	98	
	ビタミンC(mg/100g)**4	34.0 ± 0.0 ^a	22.0 ± 0.6 ^b	64.7	27.0 ± 0.1 ^b	79.4	p<0.05	73	
大根 (庫内温度 120°Cで20分 一庫内温度 100°Cで40分)	ビタミンB ₁ (mg/100g)	0.020 ± 0.000 ^a	0.019 ± 0.000 ^b	97.4	0.018 ± 0.000 ^c	94.0	p<0.05	86	
	ビタミンB ₂ (mg/100g)	検出せず	検出せず		検出せず		-	86	
	ナイアシン(mg/100g)	0.15 ± 0.10 ^a	0.12 ± 0.00 ^b	80.0	0.10 ± 0.10 ^c	66.7	p<0.05	86	
	ビタミンB ₆ (mg/100g)	0.033 ± 0.000 ^a	0.022 ± 0.000 ^b	66.6	0.021 ± 0.000 ^b	65.2	p<0.05	69	
	葉酸(μg/100g)	25.7 ± 0.6 ^a	9.7 ± 1.0 ^b	37.7	9.7 ± 0.6 ^b	37.7	p<0.05	86	
	パントテン酸(mg/100g)	0.077 ± 0.100 ^a	0.055 ± 0.010 ^b	72.0	0.050 ± 0.010 ^b	65.4	p<0.05	63	
	ビタミンC(mg/100g)	9.0 ± 0.0 ^a	3.9 ± 0.0 ^b	43.3	4.7 ± 0.0 ^c	52.2	p<0.05	70	

ビタミン含有量は試料100gあたりで示した。ビタミン含有量は食品成分表¹⁾の最少表示の位のつ下の位で示した。

*1 n=3, 平均値±SD

*2 未調理の各ビタミン含有量の平均値を100%として算出

*3 食品成分表¹⁾の成分値と重量変化率を用いて算出した。算出式:【調理した食品の成分値(100gあたり)×重量変化率(%) / 100】/食品の生の成分値×100

かぼちゃの成分値は「西洋かぼちゃ, 果実(生)および果実(ゆで)」, 大根の成分値は「だいこん, 根, 皮むき(生)および根, 皮むき(ゆで)」を用いて算出した。

*4 かぼちゃのビタミンB₁, B₂, B₆, C含有量と残存率は先行研究(文献12)で報告したものであるが, 比較のために再掲した。

*5 各ビタミン含有量において異なるアルファベット間に有意な差あり(TurkeyのHSD検定による多重比較, p<0.05)

量

大根加熱後の調味液に含まれるビタミンC量は、未調理の大根100gあたりのビタミンC含有量を100%としたときの調味液に含まれるビタミンC量の割合で示した。

④食品成分表の成分値と重量変化率から算出した各ビタミンの残存率

食品成分表の成分値と重量変化率から算出した各ビタミンの残存率(以下、「食品成分表を用いて算出した残存率」とする)は、次式を用いて算出した。「食品成分表を用いて算出した残存率」は食品成分表¹⁾に倣って整数値で示した。

「食品成分表を用いて算出した残存率」=【調理した食品の成分値(100gあたり)×重量変化率(%) / 100】/食品の生の成分値×100

8. 解析方法

各試料間のビタミン含有量の比較は一元配置分散分析を行い、有意な差が得られた場合はTukeyのHSD検定を行った。

これらの解析には、統計解析ソフト JMPver 8.0 (SAS Institute Japan)を用いた。統計的有意水準は5%未満とした。

【結果】

1. 加熱前後のかぼちゃと大根の煮物における試料中のビタミン含有量と残存率

かぼちゃと大根の未調理と煮物(スチコン調理, 真空調理)中のビタミン含有量と残存率を表4に示した。かぼちゃのビタミンB₁, B₂, B₆, Cについてはすでに報告¹²⁾しているが, 他のビタミンや大根の分析値と比較するために再掲した(表4)。未調理に比べ加熱後の試料のビタミン含有量はいずれも少なかった(いずれも p<0.05)。

スチコン調理が真空調理に比べて有意にビタミン含有量が多かったのは、かぼちゃではビタミン B₁, B₂, 葉酸, 大根ではビタミン B₁, ナイアシンであった (いずれも $p < 0.05$)。統計的な有意差はないものの、かぼちゃではナイアシン, ビタミン B₆, パントテン酸で、大根ではビタミン B₆, 葉酸, パントテン酸で、スチコン調理が真空調理に比べてビタミン含有量が多い傾向であった。真空調理がスチコン調理よりも有意にビタミン含有量が多かったのは大根のビタミン C であり ($p < 0.05$)、かぼちゃでは有意ではなかったものの多い傾向であった。

「食品成分表を用いて算出した残存率」とスチコン調理および真空調理の残存率を比較した際、スチコン調理と真空調理の残存率が、「食品成分表を用いて算出した残存率」の ± 15 ポイントの範囲であったビタミンは、かぼちゃでビタミン B₁, B₂, B₆, C, ナイアシン, 葉酸, パントテン酸であった。また大根ではビタミン B₁, B₆, パントテン酸であった。ナイアシン

は、真空調理の残存率が「食品成分表を用いて算出した残存率」より15~20ポイント低かった。

スチコン調理と真空調理の両方で、食品成分表より算出した残存率の15ポイント以下であったのは、大根の葉酸と大根のビタミン C であった。「食品成分表を用いて算出した残存率」と比べて、葉酸はスチコン調理と真空調理と共に48.3ポイント低く、ビタミン C はスチコン調理で26.7ポイント、真空調理で17.8ポイント低い値であった。

2. 加熱後の大根と調味液に含まれるビタミン C 量

未調理の大根のビタミン C 量を100%として、スチコン調理, 真空調理後の大根の残存率と調味液に含まれるビタミン C 量の割合を図1に示した (図1)。データには示していないが、加熱前の調味液からはビタミン C は検出されず、調理後の調味液にのみビタミン C が検出された。調味液のビタミン C 量は、未調理の大根のビタ

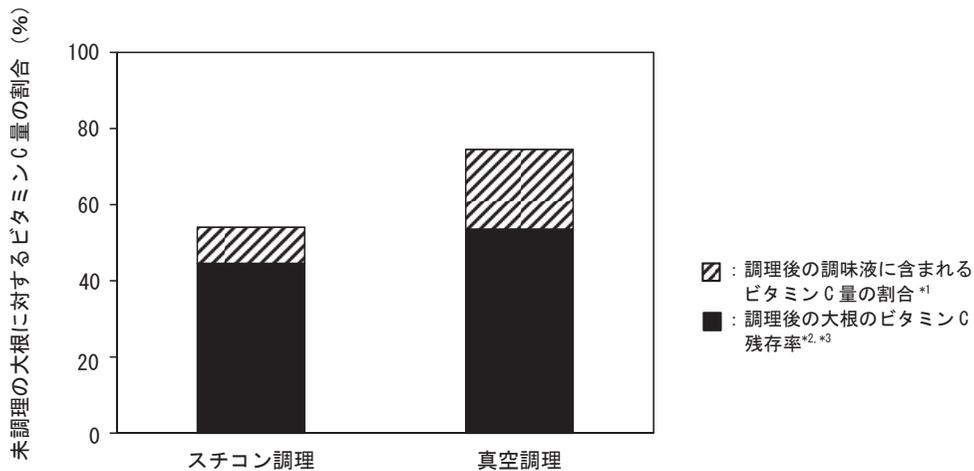


図1 スチコン調理と真空調理での大根加熱後のビタミンCの残存率と加熱後の調味液に含まれるビタミンC量の割合

ビタミンC量の割合は、未調理の大根100gあたりのビタミンC量を100%とした時の割合で示した。

*1: 調理後の調味液に含まれるビタミンC量の割合 (%) = [調理後の調味液を混合したサンプルのビタミンC分析値 (mg) / 未調理の大根3サンプルのビタミンC分析値の平均値 (mg)] × 100

*2: スチコン調理後の大根に含まれるビタミンC量の割合 (%) = [スチコン調理後の大根3サンプルのビタミンC分析値の平均値 (mg) / 未調理の大根3サンプルのビタミンC分析値の平均値 (mg)] × 100

*3: 真空調理後の大根に含まれるビタミンC量の割合 (%) = [真空調理後の大根3サンプルのビタミンC分析値の平均値 (mg) / 未調理の大根3サンプルのビタミンC分析値の平均値 (mg)] × 100

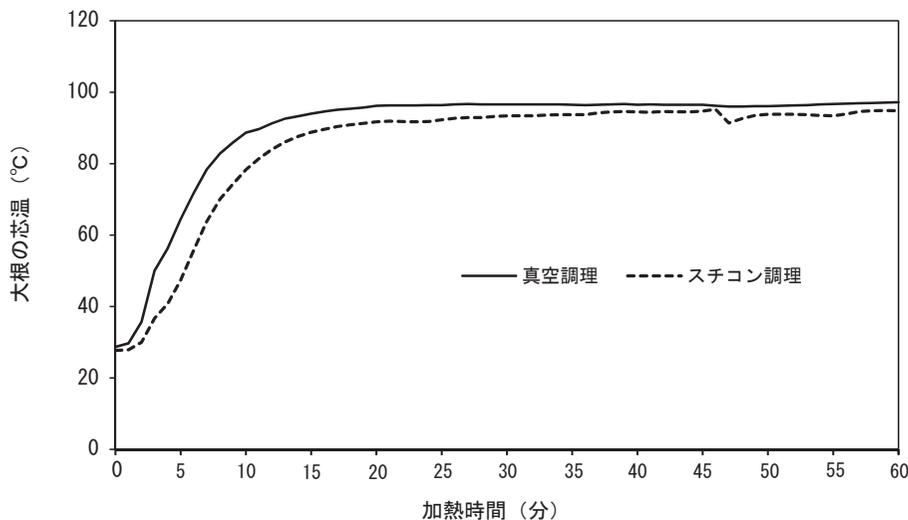


図2 スチコン調理および真空調理中の大根の芯温の変化
大根調理はコンビモードで庫内温度120℃で20分加熱後、庫内温度100℃で40分加熱した。

ミンC量を100%とした場合、スチコン調理では9.5%、真空調理では20.9%であり、真空調理の方が11.4ポイント多かった。

3. スチコン調理および真空調理中の大根の芯温の変化

大根調理中の芯温の測定結果を図2に示した。調理条件はスチコンのコンビモードで、庫内温度120℃で20分加熱後、庫内温度100℃に下げて40分加熱した。芯温は、加熱開始から20分でスチコン調理では91.7℃、真空調理では96.2℃まで上昇し、加熱開始から30分でスチコン調理では93.4℃、真空調理では96.6℃に達した。その後、60分まではほぼ同じ温度を維持した。また、加熱開始5分後（スチコン調理で47.4℃、真空調理で64.5℃）、加熱開始10分後（スチコン調理で78.3℃、真空調理で88.7℃）、加熱開始15分後（スチコン調理で88.8℃、真空調理で94.0℃）のいずれも短時間で芯温が上昇したのは真空調理であった。

【考察】

本研究では、かぼちゃおよび大根の煮物のスチコン調理と真空調理における水溶性ビタミン

の損失を比較検討した。加熱温度が大根の軟化およびビタミンCの調理損失に影響する可能性があるため、スチコン調理中および真空調理中の大根の芯温測定も行った。

1. 「食品成分表を用いて算出した残存率」とスチコン調理と真空調理とのビタミン残存率の比較

スチコン調理と真空調理の両方で、「食品成分表を用いて算出した残存率」の15ポイントを下回ったのは、大根の葉酸と大根のビタミンCであった。ビタミンC¹⁶⁾と同様に葉酸は加熱による損失が大きいビタミンである¹⁷⁾。大根のビタミンCの残存率（スチコン調理で43.3%、真空調理で52.2%）は、「食品成分表を用いて算出した残存率」の70%より低く、大根の葉酸の残存率（スチコン調理で37.7%、真空調理で37.7%）は、「食品成分表を用いて算出した残存率」の86%より低かった。本研究では大根で60分の加熱を行ったが、加熱時間の長さが残存率の低さに影響したと考えられる。

かぼちゃの水溶性ビタミンにおいて、スチコン調理、真空調理後のビタミンB₁、B₂、B₆、C、ナイアシン、葉酸、パントテン酸の残存率

は、「食品成分表を用いて算出した残存率」の±15ポイントの値であった。かぼちゃのスチコン調理と真空調理による加熱調理では、芯温95℃で15分程度の加熱であれば、「食品成分表を用いて算出した残存率」を15ポイントの誤差と認識しながら栄養価の算出時に使用できると考えられる。

大根のスチコン調理、真空調理後のビタミン残存率については、ビタミンB₁、B₆、パントテン酸において、「食品成分表を用いて算出した残存率」の±15ポイントの値であった。大根のスチコン調理と真空調理による加熱調理では、ビタミンB₁、B₆、パントテン酸は、芯温95℃で60分程度の加熱であれば、「食品成分表を用いて算出した残存率」を15ポイントの誤差と認識しながら算出時に使用できると考えられる。

2. 調理法による水溶性ビタミンの残存率の違い

1) スチコン調理の方が真空調理よりも調理後の残存率が高いビタミンについて

かぼちゃと大根共にビタミンB₁、B₆、ナイアシン、パントテン酸の残存率はスチコン調理の方が真空調理に比べて高かった。その理由について加熱調理中の調味液の拡散方向の点から考察する。本研究では調味液中のビタミンの測定をビタミンCのみで行ったため、ビタミンCの測定結果(図1)より考えてみる。

通常の加熱方法では、調味液は食材の表面から中心部に向かって拡散浸透する¹⁸⁾。真空調理では真空包装する過程で、調味液が食材の内部に浸透するため、調味液の拡散方向が通常の加熱調理とは異なり、食材の中心部から表面に向かっての拡散も生じる¹⁹⁾。大根加熱中に調味液に溶出したビタミンCの測定結果から、煮汁への移動の程度を検討してみると、調味液中に含まれるビタミンC量の割合は真空調理の方がスチコン調理に比べて大きかった(図1)。この現象は調味液が表面に向かって拡散する際に、調味液中に溶け出したビタミンも煮汁中に移動して流出し、その結果として真空調理の方が調味液に流出したビタミンCがスチコン調理よ

りも多くなったと考えられた。このことから、先行研究¹²⁾と本研究で測定したビタミンB₁、B₆、ナイアシン、パントテン酸のスチコン調理と真空調理後の残存率の違いは、ビタミンCの測定結果と同様に、調味液が移動する方向の違いによるものと考えられた。

2) 真空調理の方がスチコン調理よりも調理後の残存率が高いビタミンについて

両煮物の水溶性ビタミンのうちビタミンCだけが、真空調理の方がスチコン調理に比べて残存率が高かった。その理由についてアスコルビン酸の性質から考察する。

ビタミンCは還元型のアスコルビン酸と酸化型のデヒドロアスコルビン酸として存在し、そのビタミンC効力は等価と考えられるため、食品成分表では両者を合計したものと定義されている¹⁾。食品中のアスコルビン酸オキシダーゼは、組織が破壊され、基質であるアスコルビン酸と接することにより、アスコルビン酸を酸化して酸化型のデヒドロアスコルビン酸を生成する。調理時のアスコルビン酸は還元型、酸化型ともに熱を加えない限り安定であるが、酸化型のデヒドロアスコルビン酸は熱に不安定であり、加熱により分解される¹⁶⁾。

先行研究において、かぼちゃ²⁰⁾、および大根²¹⁾で真空調理の方が真空包装しない試料よりも総アスコルビン酸量が多く保持されていること、真空度が高い方が低い方よりも総アスコルビン酸含有量が多く、総アスコルビン酸に占める還元型アスコルビン酸の割合が高いことが報告されている。スチコン調理では、先行研究^{20,21)}に示された通常の加熱調理中と同様にアスコルビン酸オキシダーゼが働き、アスコルビン酸の酸化が生じるため、真空調理よりも残存率が低値であったと考えられる。また、L-アスコルビン酸オキシダーゼの適温は35~60℃で、70℃になると急速に失活する²²⁾。本研究での芯温測定の結果、温度上昇は真空調理の方がスチコン調理に比べて早く(図2)、真空調理の方が真空フィルム内に残存するアスコルビン酸オキシダーゼの反応時間が短い。このこと

も真空調理の方が還元型および酸化型のアスコルビン酸の酸化が抑制されるために、調理後のビタミンCの含有量が多かった一因であると考えられる。

調理法にかかわらず、かぼちゃ（スチコン調理で64.7%、真空調理で79.4%）に比べて大根（スチコン調理で43.3%、真空調理で52.2%）でビタミンCの残存率が低い理由として、加熱時間の差が考えられる。本研究では、かぼちゃは15分加熱、大根は60分の加熱を行っており、加熱時間が長くなるとアスコルビン酸の酸化分解が進む^{16,20,21)}ため、大根の方が残存率が低くなったと推察された。

3. スチコン調理と真空調理中の芯温の変化

大根のスチコン調理および真空調理中の芯温は、真空調理で温度上昇が早かった。本研究の大根の1ブロック（1辺2.0cmの立方体）の形状と調理条件で、野菜・果物のセルロースの破壊開始温度である芯温92℃^{15,23)}に達するために、スチコン調理では25分を要したのに対し、真空調理では13分と短かった。芯温で出来上がりを管理する場合は、真空調理の方が調理時間を短縮できる可能性が考えられる。本研究の加熱条件で、真空調理中の芯温の最大値は96.7℃であった。本研究の条件では加熱中にフィルムの破裂はなかったものの、フィルムが破裂することのないよう芯温95℃を上回らないような加熱条件が必要である。

4. 本研究の限界

真空調理では不味成分を閉じ込めてしまう可能性があるため、灰汁がある野菜は湯通しをして臭いや灰汁を抜く方法が一般的である^{14,15)}。本研究では、加熱条件をスチコン調理と一定にするために湯通しを行わなかったが、食材によっては灰汁を除いて調理する必要がある、本研究で得られた結果と異なる可能性がある。

大量調理の生産管理システムには、加熱調理後に冷却、低温保存、再加熱して提供するクックチルシステムがある。スチコン調理あるいは

真空調理後にクックチル方式で提供する場合は、さらに冷却（90分以内に0～3℃）し、保存（3℃以下）し、再加熱（中心温度75℃で1分以上）のステップが加わるため⁸⁾、本研究結果よりも残存率が低くなる可能性がある。

【まとめ】

本研究の調理条件では、かぼちゃのビタミンB₁、B₂、B₆、C、ナイアシン、葉酸、パントテン酸、および大根のビタミンB₁、B₆、パントテン酸の残存率は、「食品成分表を用いて算出した残存率」の±15ポイントであった。調理法による残存率の比較では、ビタミンCでは真空調理が、その他の水溶性ビタミンではスチコン調理で残存率が高かった。

水溶性ビタミンの損失の程度は、調理法や加熱条件、ビタミンの性質により異なるため、異なる食材を用いて調理損失のデータを蓄積していくことが重要である。これらのデータを蓄積していくことで、スチコン調理や真空調理で加熱調理された食事の栄養素量を正確に算出する際に、参考資料として活用できると考えられる。

【謝辞】

本研究は同志社女子大学2013年度、2014年度の研究助成金・共同研究の助成を受けて行った。

【文献】

- 1) 文部科学省 科学技術・学術審議会、資源調査分科会編：日本食品標準成分表2010 全国官報発売共同組合、東京（2010）
- 2) 菱田明、佐々木敏：日本人の食事摂取基準（2015年版）、第一出版株式会社、東京、p. 28-29（2014）
- 3) Khehl WA, Winters RW: Effect of cooking methods on retention of vitamins and minerals in vegetables. *J. Am. Diet. Assoc.*; 26: 966-972（1950）
- 4) Adams CE, Erdman Jr, JW: Effects of home food preparation practices on nutritional content of foods. In: Karmas E, Harris RS, eds, *Nutritional*

- evaluation of food processing. Van Nostrand Reinhold, New York, p.557-595 (1988)
- 5) Kimura M, Itokawa Y: Cooking losses of minerals in foods and its nutritional significance. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 36 (Suppl 1), 25-32 (1990)
 - 6) Kimura M, Itokawa Y: Cooking losses of thiamin in food and its nutritional significance. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 36 (Suppl1), 17-24 (1990)
 - 7) McKillop DJ, Pentieva K, Daly D *et al*: The effect of different cooking methods on folate retention in various foods that are amongst the major contributors to folate intake in the UK diet. *Br. J. Nutr.* 88, 681-688 (2002)
 - 8) 殿塚婦美子, 三好恵子, 笹島道雄, 他(殿塚婦美子編):改定新版大量調理～品質管理と調理の実際～, 学建書院, 東京, p.12, p.89-104 (2014)
 - 9) 横井克彦:微量栄養素の摂取基準運用に関する留意点一法と科学に基づく業務の遂行一, 日本栄養士会雑誌53, 896-907 (2010)
 - 10) 佐々木敏:食事摂取基準入門そのところを読む, 同文書院, 東京, p.101 (2010)
 - 11) 日本給食サービス協会, 日本給食経営管理学会:給食施設における栄養情報提供ガイド(2015年), (2015)
 - 12) 神田知子, 有馬沙耶, 藤本理瑛, 他:スチームコンベクションオープン調理と真空調理による水溶性ビタミン B₁・B₂・B₆・C の調理損失の比較～かぼちゃの煮物について～, 日本給食経営管理学会誌 6, 65-73 (2012)
 - 13) 大呂興平:日本のカボチャ市場をめぐる産地間競争の変動, 大分大学経済論集, 65, 149-166 (2013)
 - 14) 長田銃司, 長田勇久:真空調理で日本料理, 柴田書店, 東京, p.147-158 (2003)
 - 15) 新調理技術協議会:わかりやすい真空調理レシピ, 柴田書店, 東京, p.10-18 (2007)
 - 16) 桐淵尋子, 川嶋かほる:調理時におけるアスコルビン酸の変化, 日本家政学会誌 38, 877-887 (1983)
 - 17) 田口博国, 原功一, 長谷川敏男, 他:食品中の葉酸含量に関する研究(Ⅱ)食品中の葉酸の加熱調理による損失, ビタミン 47, 21-25 (1973)
 - 18) 山崎清子, 島田キミエ, 渋谷祥子, 他, 新版調理と理論, 同文書院, 東京, pp.13-16 (2003)
 - 19) 田村朝子, 佐々木舞, 木下伊規子, 他:真空包装がジャガイモの煮くずれに及ぼす影響, 日本調理科学会誌 39, 296-301 (2006)
 - 20) 吉村美紀, 生野世方子, 山内直樹:カボチャ果実の真空調理に伴う品質変化, 日本食品低温保存学会誌 19, 57-60 (1993)
 - 21) 生野世方子, 吉村美紀, 山内直樹:大根の真空調理に伴う品質変化, 日本調理科学会誌 26, 299-303 (1993)
 - 22) 井上千穂子, 布施正子, 松本武, 他:L-アスコルビン酸オキシダーゼに関する研究(第2報), 家政学雑誌 14, 74-76 (1963)
 - 23) 脇雅世, 真空調理法, 日本調理科学会誌 22, 190-195 (1989)