

調理・加工した山口県産トマト、ナス及びカボチャの抗酸化性

三上 奈々 (帯広畜産大学 生命・食料科学研究部門, nanam@obihiro.ac.jp)

若林 舞 (山口県立大学 看護栄養学部, wakawakamh4759@yahoo.co.jp)

佐藤 あゆみ (山口県立大学 看護栄養学部, a.u.711.369@gmail.com)

人見 英里 (山口県立大学 看護栄養学部, hitomi@yamaguchi-pu.ac.jp)

Anti-oxidative activities of vegetables grown in Yamaguchi prefecture by cooking

Nana Mikami (Department of Life and Food Sciences, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Japan)

Mai Wakabayashi (Faculty of Nursing and Human Nutrition, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

Ayumi Sato (Faculty of Nursing and Human Nutrition, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

Eri Hitomi (Faculty of Nursing and Human Nutrition, Yamaguchi Prefectural University, Japan)

要約

野菜や果物は抗酸化物質の良い供給源であるが、産地や調理の有無によってその含量は多様であると考えられる。本研究では山口県で栽培されたあぶトマト（トマト）、たまげなす（ナス）、くりまさる（カボチャ）を試料とし、生と調理加工後の抗酸化活性をORAC法（H-ORAC）とDPPH法によって測定した。さらに総ポリフェノール量も測定し、H-ORAC活性、DPPHラジカル捕捉能、総ポリフェノール量のそれぞれの関連を評価した。あぶトマト、たまげなす、くりまさるに対して電気オーブンや電子レンジによる加熱調理を施しても、H-ORAC、DPPH、総ポリフェノール量で評価した抗酸化活性に対して有意な変化を与えなかった。あぶトマトに関しては種子の除去の有無における抗酸化能についても検討したが、影響はなかった。これらのことは、一般に多用される条件下で野菜に加熱調理を施しても、未加熱状態の抗酸化能を維持できることを示唆した。

キーワード

山口県産野菜, 抗酸化能, 加工, 電気オーブン加熱, 電子レンジ加熱

1. 緒言

活性酸素は紫外線、喫煙、ストレスなど我々の身近にある要因から生み出される物質であり、がんや動脈硬化などの生活習慣病や老化を引き起こすことが知られている。一方で食品に含まれるビタミンやカロテノイド、ポリフェノールなどの抗酸化成分は活性酸素を除去する働きをもつことから、これらを豊富に含む野菜・果物類の摂取に期待が寄せられている。

野菜・果物類の抗酸化能については、これまで多くの研究者によって盛んに調べられており、その知見が報告されている。しかし、産地によって野菜類の栄養組成は大きく変動することが報告されており (Kacjan et al., 2010; Kananke et al., 2016; 高澤・保井, 2002)、その抗酸化能に関しても地域によって特色があると推測される。また、野菜類は生で摂取される一方で、加熱や加工などの調理が施された状態で摂取することも多い。生鮮状態では高い抗酸化能がある食品でも、加熱調理法による熱分解等で抗酸化成分が失われその活性が著しく低下することも懸念されるため (久保田・山下, 2000)、食事として摂取する際の食品の抗酸化作用を評価する場合、生と調理後の両方の抗酸化能を調べる必要がある。しかし、調理による影響を考慮して野菜類の抗酸化能を評価した研究は少なく、今後さらなるデータの蓄積が望まれる。

このような背景から、本研究では山口県で栽培され、県内外に出荷されている3種類の野菜「山口あぶトマト」、「萩たまげなす」、「阿知須くりまさる」に注目し、その抗酸化特性に

ついて検討した。また、これらを実際に食すことを想定し、生のみではなくモデル調理として加熱や加工が抗酸化活性に与える影響についても調べることにした。一般的な加熱調理は、煮る、茹でる、蒸すなどの湿式加熱が多いが、本研究では加熱方法として、熱した空気の対流熱・天板の伝導熱・庫壁の輻射熱を利用する電気オーブン加熱（オーブントースターまたはオープンレンジ）、食品中の水分子に電磁波がぶつかり振動発熱をおこす電子レンジ加熱を施し、加熱前後の抗酸化性の変化を検討した。

野菜類の抗酸化性を測定する手法としては、一般的にORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity, 活性酸素吸収能)法 (Cao et al., 1993; Ou et al., 2001) やDPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ラジカル捕捉法 (Marsden, 1958; 沖, 2009) などがある。ORAC法は生体での酸化反応に近いラジカル種を用いるため、食品に加え生体組織における抗酸化能も同じ方法で測定できる優位性を持つが、一方で分析精度が低いことやカロテノイド系抗酸化物質の評価が正確にできないこと (Bangalore et al. (2005)) などの短所も見出されており、分析法の改良が行われている (Antioxidant Unit 研究会ホームページ, <http://www.antioxidant-unit.com/>)。このような状況から本研究では旧来用いられているDPPH法によっても測定し、両抗酸化性測定法の相関を検討した。さらに、植物性食品の抗酸化性はポリフェノールに由来するものも多いことから、総ポリフェノール量との相関についても検討を行った。

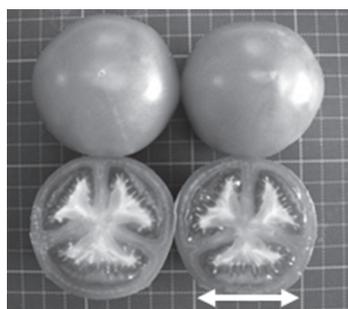
2. 方法

2.1 実験試料

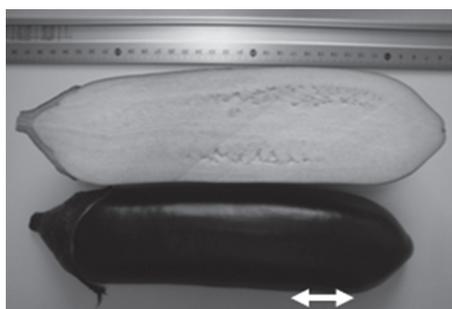
山口県産野菜として、トマト、ナス、カボチャの3種を選定した。商品名はそれぞれ「あぶトマト (品種: 桃太郎、麗夏

表1：山口県産野菜の特徴

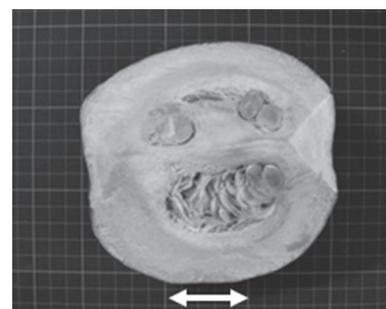
野菜種	主な産地	出荷時期	品種	特性
山口あぶトマト	萩市(旧むつみ村、旧福栄村)、山口市(旧阿東町)	7～11月	「桃太郎」「麗夏」	<ul style="list-style-type: none"> 糖度が高い 甘味と酸味のバランスがよく、肉質がしっかりしている
萩たまげなす	萩市、長門市	6～7月	「田屋なす」	<ul style="list-style-type: none"> 皮が薄く実がしっかりと詰まっており、肉質は柔らかくきめ細かい 長さ約30cm、重さ500g以上(普通のなすの3～4本分) 「たまげる(びっくりする)」大きさであることから名付けられた
阿知須くりまさる	山口市(旧阿知須町)	7～8月	「くりまさる」	<ul style="list-style-type: none"> 肉厚で煮てもくずれにくい 栗のようにほくほくしており、栗よりも甘いことから名付けられた



山口あぶトマト



萩たまげなす



阿知須くりまさる

図1：山口県産野菜

注：写真中の矢印は5センチメートル。

(平田, 2010))」(萩市(むつみ・福栄地域)及び山口市阿東地域及び阿武郡阿武町で栽培)、「たまげなす(品種:田屋なす(神田他, 2005; 平田, 2010))」(萩市及び長門市で栽培)、「くりまさる(品種:くりまさる)」(山口市阿知須で栽培)で、2011年7月(たまげなす)と8月(あぶトマト、くりまさる)に購入したものを試料とした(図1参照)。それぞれの野菜の特徴は表1に示す通りである。

2.2 試料の調製方法

試料は上記3種の野菜の生の状態に加え、加工・加熱の工程による影響を想定して希釈・調製した。詳細な条件については試料毎に以下に示す。試料の加熱にはオーブンレンジ(RE-S15A、SHARP製)、オーブントースター(ET-NS15MX、象印製)、電子レンジ(RE-S15A、SHARP製)を使用した。なお、調製した試料は測定まで-80℃にて保存した。

2.2.1 あぶトマト

・ 生の場合：

トマトは赤道面と直角に4等分のくし切りにしてヘタをとり、対称になるもの2切れを選んだ。これを2cm程度に切り、フードプロセッサーにかけた。不織布フィルターでろ過し、よく混和したものを高速微量遠心機によって15,000xg、5分間、常温で遠心分離し、上清を「生・全体」とした。くし切りした後、種子とその周辺のゼリー状部分を除去し、同様に調製したものを「生・種子除去」とした。

・ 電気オープン加熱の場合：

トマトは丸のままヘタの反対側に縦4本、横3本の格子状の切り目を入れた後、オープンレンジ180℃で30分間加熱した。その後、生の場合と同様の処理により「電気オープン加熱・全体」、「電気オープン加熱・種子除去」として調製した。

・ 電子レンジ加熱の場合：

電気オープン加熱の場合と同様にトマトに切り目を入れた後、電子レンジ500Wで5分間加熱した。その後、生の場合と同様の処理により「電子レンジ加熱・全体」、「電子レンジ加熱・種子除去」として調製した。

2.2.2 たまげなす

・ 生の場合：

ナスのヘタと尻(果実のヘタと反対側の端)の部分を取り除き、果実全体を3等分に輪切りし、ピーラーで皮をむいた。細かく刻んだナスの果肉10gと80%エタノール30mLを45mLのチューブに入れ4℃で3日間静置した。これをろ紙でろ過したものを「生・果肉」の試料とした。またナスの皮10gを同様に処理して得られた試料を「生・果皮」とした。

・ 電気オープン加熱の場合：

ナスのヘタと尻の部分を取り除き、果実全体を3等分に輪切りにした。皮を数か所フォークで軽く刺し、オーブントースターで10分間加熱した。皮をむいた後、果肉を細かく刻み、生の場合と同様の処理により「電気オープン加熱・

果肉」として調製した。

- 電子レンジ加熱の場合：
ナスのヘタと尻の部分を取り除き、ピーラーで皮をむいた。ナスを長径にそって縦半分に切り、果肉側に長径方向に2 cm程度の深さの切り込みを2本均等に入れ、さらに短径方向に3等分になるよう輪切りした。それぞれを個別に食品用ラップフィルムで包み、電子レンジ500 Wで4分間加熱した。加熱後も硬い場合はさらに柔らかくなるまで加熱した。その後、果肉を細かく刻み、生の場合と同様の処理により「電子レンジ加熱・果肉」として調製した。

2.2.3 くりまさる

カボチャ（1/4カット）の皮をピーラーでむき、果肉を赤道面と直角に3等分してそれぞれを生、電気オープン加熱、電子レンジ加熱に使用した。

- 生の場合：
カットした3等分のうちの1つを使用し、2 cm角程度に切った後、フードプロセッサーで細断した果肉10 gと80 %エタノール30 mLを45 mLのチューブに入れ4 °Cで7日間静置した。これをろ紙でろ過したものを「生・果肉」の試料とした。
- 電気オープン加熱の場合：
カットした3等分のうちの1つを使用し、オープンレンジ180 °Cで35分間加熱した。その後、生の場合と同様の処理により「電気オープン加熱・果肉」として調製した。
- 電子レンジ加熱の場合：
カットした3等分のうちの1つを使用し、電子レンジ500 Wで4分間加熱した。その後、生の場合と同様の処理により「電子レンジ加熱・果肉」として調製した。

2.3 H-ORAC の測定

ORAC法では、ラジカル発生剤であるAAPH (2,2'-Azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride) から誘導されるペルオキシラジカルによって、標識物質であるフルオロセインが分解されて蛍光を失う過程の抑制を調べ、抗酸化能を評価した。

フルオロセインの蛍光強度を縦軸に、時間を横軸に取ったグラフにおいて、蛍光強度の軌跡によって囲まれた面積 (Area Under Curve : AUC) を算出した。抗酸化物質存在下ではペルオキシラジカルが捕捉されるため、フルオロセインの消失によるAUCの減少が抑制される。ORACは標準物質であるTroloxのAUCから抗酸化物質非存在下でのブランクのAUCを差し引いたnetAUCに対し、抗酸化物質存在下でのAUCの相対値を得て、Trolox当量として示した。通常ORAC値は親水性ORACと親油性ORACを合わせて総ORACとするが、本研究では親水性ORAC (H-ORAC)のみを測定しH-ORAC値とした。

2.3.1 試薬

75 mMリン酸カルシウム緩衝液 (pH7.0) を調製し、これをAssay bufferとした。Fluorescein Sodium salt (Sigma-Aldrich社) をAssay bufferにて95.5 nMに調製したものをフルオロセイン (FL) 溶液とした。AAPH (和光純薬(株)) 129 mgを測定

直前にAssay buffer 15 mLに溶解し、AAPH溶液とした。標準液としてTrolox (CALBIOCHEM社) は特級エタノールに溶解し、Assay Bufferで希釈したものを分注して-80 °Cに保存し、50、25、12.5、6.25 μMとなるよう使用直前に調製して使用した。

2.3.2 方法

試料溶液はAssay bufferによって試料毎に10 ~ 400倍に希釈した。96穴マイクロプレートに標準液または希釈した試料溶液を20 μLを分注し、あらかじめ37 °Cに加熱しておいた蛍光マイクロプレートリーダー (SynergyMx, BioTek社製) にセットした。チャンネルマイクロピペットによりFL溶液を200 μLずつ自動分注し、装置内で振とう混和後、37 °Cで15分間加熱した。その後、チャンネルマイクロピペットによりAAPH溶液を75 μL自動分注し、混和後直ちに測定を開始した。測定は90分間、2分間隔 (測定回数46回) で行い、励起波長485 nm、蛍光波長520 nmで測定した。

プレートごとにTroloxのnetAUCから検量線を作成し、H-ORAC値 (μmol TE/g) を算出した。

なお、あぶトマトの調製試料は1 mL = 1 gとみなして計算した。

2.4 DPPH ラジカル捕捉能の測定

試料溶液のDPPHラジカル捕捉能はMatsuo (2002) の方法に従って測定した。

2.4.1 試薬

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, 和光純薬) は特級エタノールで溶解した。0.1 M酢酸緩衝液は0.1 M酢酸ナトリウム水溶液と0.1 M酢酸水溶液を調製後およそ8 : 1で混合し、pHを5.5に調製した。標準液として用いたTrolox (CALBIOCHEM社) は特級エタノール (和光純薬(株)) に溶解し、6.25、12.5、25、50 μMとなるよう使用直前に調製した。

2.4.2 方法

試料溶液は蒸留水によって試料毎に5 ~ 50倍に希釈した。1.5 mL容のマイクロチューブに0.1 M酢酸緩衝液 (pH 5.5)、0.2 mM DPPH-エタノール溶液、標準液または試料溶液をそれぞれ0.3 mLずつ入れ混合し、60分間遮光して室温に放置した後、紫外可視分光光度計 (UV-1800、島津製作所製) を用いて517 nmで吸光度を測定した。Troloxを標準として用い、その検量線から、試料1 gあたりのDPPHラジカル捕捉能をTrolox当量 (μmol TE/g) として算出した。

2.5 総ポリフェノール量の測定

試料に含まれる総ポリフェノール量の測定はFolin-Denis法によって行った。Folin試薬として市販のFolin-Ciocalteu's Phenol Reagent (Sigma-Aldrich社) を2倍に希釈して用い、試料溶液は蒸留水により試料毎に2 ~ 10倍に希釈した。標準物質として没食子酸 (片山化学工業) を85 %エタノールで溶解して用いた。標準液または各試料溶液0.5 mLを2 mL容マイクロチューブに入れ、Folin試薬0.5 mLを加えてよく攪拌した後3分間室温で静置した。次に10 %炭酸ナトリウム溶液を0.5

mL加え、これをさらに1時間室温で静置した後、760 nmにて吸光度を測定した。試料1 g中の総ポリフェノール量を没食子酸当量として算出した。

2.6 統計処理

実験結果は平均値±標準偏差で示した。統計処理はそれぞれ野菜の部位の抗酸化能の群間の比較、生と調理の群間の比較をした。また、それぞれの野菜の総ポリフェノール量-H-ORAC値、総ポリフェノール量-DPPH値、H-ORAC値-DPPH値の関連性を検討した。検定にはExcel統計Ver.6.0(株式会社エスミ)とJMP13*13.0.0(SAS Institute Inc.)を用いてStudentのt検定、一元配置分散分析、ピアソンの積率相関分析を行い、5%の危険率をもって有意差ありと判断した。

3. 結果および考察

3.1 未加熱(生)野菜の抗酸化能

あぶトマトのH-ORAC活性は全体部位の試料と比べ種子除去の試料で低くなる傾向がみられたが(全体:3.11±0.48 μmol TE/g、種子除去:2.46±0.41 μmol TE/g)、有意な差はなかった。この傾向はDPPH活性と総ポリフェノール量においても同様に見られた(表2)。これらのことより、生のトマトにおいて種子除去の加工は抗酸化能を有意に変化させないことが示された。H-ORAC値に関して、米国のトマトの364 μmol TE/100 g(USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods, 2010)と比較すると、本研究のあぶトマトは311 μmol TE/100 g(全体の部位、表2)であり、やや低い値であった。また、先行研究においてトマトの総ポリフェノール量は100gあたりの没食子酸当量で22.3 mg(ドイツ産)(Gahler et al., 2003)、49.2 mg(奈良県で購入)(Yamaguchi et al., 2007)と報告されている。本研究で測定されたあぶトマトの総ポリフェノール量26.3 mgと比較すると、ドイツ産とは同程度であり、奈良県で購入されたものよりは低い値であった。また、過去の研究によるとトマト(スペイン産、Malva)には主要なポリフェノールとしてルチン(2.0 mg/100 g)、ナリンゲニン(0.3 mg/100 g)等が含まれていることから(Vallverdú-Queralt et al., 2011)、あぶトマトもこれらのポリフェノールを主要な構成成分とすることが推察される。

たまげなすの果肉と果皮を比較すると、果皮のH-ORAC活性、DPPH活性、総ポリフェノール量は果肉よりも有意に高い値を示し、それぞれ果肉の1.6倍、2.4倍、2.9倍であった(表2)。これは、ナスの果皮にはポリフェノールとしてナスニン(デルフィニジン-3-(p-クマロイルルチノシド)-5-グルコシド)

(Ichiyangi et al., 2005)等のアントシアニン色素やクロロゲン酸(立山・五十嵐, 2006)が豊富に含まれていることによると考えられる。ナスニンはナスのアントシアニンの80~90%程度を占め(橋本他, 2013)、高い抗酸化性を有することが知られている(Azuma et al., 2008)。日本食品標準成分表2015(七訂)に記載されているナス廃棄率(10%、ヘタ)と米ナス廃棄率(30%、ヘタ及び果皮)を参考に算出した結果、たまげなすは801 μmol TE/100 gと推定され、USDA(US Department of Agriculture)のナスのH-ORAC値(932 μmol TE/100 g)(USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods, 2010)と比較し、やや低い結果になった。先行研究では、ナスの渋味の主要成分としてたまげなす(品種:田屋なす)と一般品種(筑陽なす)の生及び加熱の総ポリフェノール量を測定した結果、同程度であったと報告されている(神田他, 2005)。一方で、たまげなすは一般品種と比べて果肉が肥大化することで、果皮面積の増大の割には色素合成量が追いつかないため、一定果皮重量あたりの色素蓄積量が少ないことも報告されている(神田他, 2005)。このことより、たまげなすと一般品種のナスが含有する総ポリフェノール量に差はないが、その一部であるアントシアニンのような色素含量の割合が異なることで、H-ORAC活性に影響を与える可能性があると考えられた。

くりまさるでは果肉の部位のみの抗酸化性を測定した。3つの指標によってくりまさる果肉と他の地域のカボチャを比較すると、H-ORACは4.02 μmol TE/g(くりまさる)と4.14 μmol TE/g(米国産、USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods, 2010)、DPPHは0.67 μmol TE/g(くりまさる)と0.31 μmol TE/g(沖縄県産、丸型果肉、80%エタノール抽出液)(須田他, 2005)、総ポリフェノール量は62.1 μg/g(くりまさる)と119.0 μg/g(沖縄県産、丸型果肉、80%エタノール抽出液)(須田他, 2005)であった。米国産のカボチャと比較すると、くりまさるのH-ORAC値はほぼ同等であった。沖縄県産と比べると、DPPHは山口県産のくりまさるで高い値を示し、総ポリフェノール量においてはくりまさるが低い値を示した。以前の報告によると、カボチャはp-ヒドロキシフェニル酢酸(0.468 μg/g)やo-バニリン(0.135 μg/g)、o-クマル酸(0.099 μg/g)、クロロゲン酸(0.076 μg/g)などのフェノール化合物を含むことが知られており(Ramirez-Anaya Jdel et al., 2015)、くりまさるにもこれらのポリフェノールの抗酸化性が関与することが考えられる。

3種の野菜のH-ORAC値を比較すると、たまげなすの値が最も高かった。一方で日本食品標準成分表2015年版(七訂)に

表2: 山口県産野菜の生の状態における抗酸化能と総ポリフェノール含量

測定値	あぶトマト		たまげなす		くりまさる
	全体	種子除去	果肉	果皮	果肉
H-ORAC (μmol TE/g)	3.11 ± 0.48	2.46 ± 0.41	7.15 ± 0.69	11.46 ± 0.17 **	4.02 ± 0.34
DPPH (μmol TE/g)	2.47 ± 0.50	2.26 ± 0.52	1.35 ± 0.09	3.24 ± 0.47 *	0.67 ± 0.15
総ポリフェノール量 (μg/g)	262.6 ± 35.8	245.2 ± 38.3	55.3 ± 3.7	162.9 ± 19.2 **	62.1 ± 30.3

注: *, p < 0.05 vs たまげなす果肉; **, p < 0.001 vs たまげなす果肉。

記載されているβ-カロテン量を比較すると、100 g重量当たりトマトは540 μg、ナス100 μg、カボチャ4000 μgであった(いずれも生の数値)。本実験で用いた試料の抽出法では、カロテンのような脂溶性の抗酸化物質が十分抽出できないことに加え、H-ORAC法では、β-カロテンなどのカロテノイド系の抗酸化能を評価できないため、カロテン類を豊富に含む野菜については他の抗酸化測定法と合わせた評価が必要と考えられる。

3.2 加熱調理による野菜の抗酸化能の変化

オープンレンジまたはオーブントースターによる電気オープン加熱と、電子レンジ加熱を用いて調理することによる野菜の抗酸化能の変化を検討した。

あぶトマトは種子除去の加工を加えた後加熱することを考慮し、「全体」と「種子除去」の2つの部位における加熱調理の影響を検討した。トマト全体の抗酸化能においては、生、電気オープン加熱、電子レンジ加熱の間でH-ORAC、DPPHの値に差は見られなかった(図2)。また、種子除去のトマトにおいても生と比較し、電気オープンと電子レンジによる加熱はH-ORAC、DPPHの値を変化させなかった。さらに、電気オープン加熱、電子レンジ加熱それぞれについてトマトの全体と種子除去の抗酸化能を比較しても、部位によるH-ORACとDPPHの値に差はなかった。これらの結果より、トマトは電気オープンまたは電子レンジを用いて加熱しても、本研究の条件下ではH-ORACやDPPHの抗酸化能は失われないことが示された。また、種子除去の加工の有無はこれらの抗酸化能には影響しないことが示唆された。

図3には加熱調理によるたまげなす果肉の抗酸化能への影響を示した。たまげなすのH-ORAC値は生と比較して加熱調理によって上昇する傾向があり、特に電気オープン加熱でその傾向は大きかった。しかし、これらの上昇は有意ではなかった(一元配置分散分析、 $p = 0.06$)。DPPH値においても同様であり、生に比べて加熱調理によって上昇する傾向がみられたが、有意な差ではなかった。これらの知見はたまげなすの果肉は加熱によって抗酸化性を損なわないことを示した。

また、くりまさるの果肉についても、電気オープンや電子レンジによる加熱調理後のH-ORACやDPPHの活性は調理前と比較して変化がなかった(図4)。くりまさるにおいても上

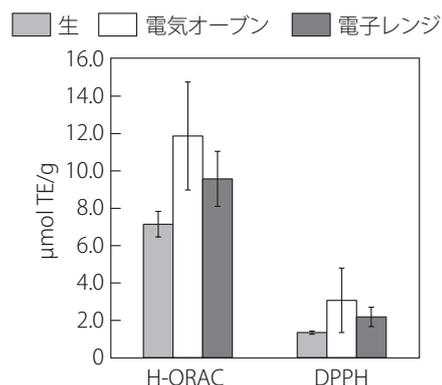


図3：たまげなすの加熱調理が抗酸化活性に与える影響

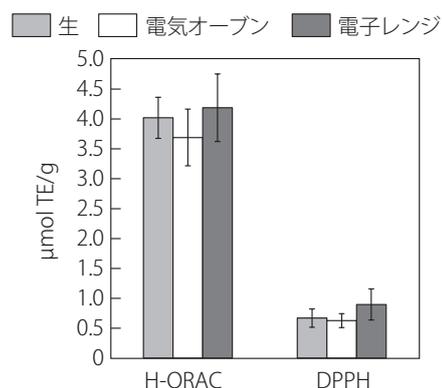


図4：くりまさるの加熱調理が抗酸化活性に与える影響

記の加熱条件であればH-ORACやDPPHのような抗酸化活性は失われないことが示された。

これら3つの山口県産野菜の抗酸化能の結果より、加熱調理はこれらの抗酸化能に影響を与えない、または野菜の種類によっては、有意ではないが抗酸化能が高くなる傾向があった。Yamaguchiらもトマトやナスを電子レンジ加熱(トマト：2分、ナス5分)しても、DPPH活性は維持されたと報告している(Yamaguchi et al., 2007)。

本実験では加熱調理時に流出した水分を含めずに測定を行った。あぶトマトの加熱調理時、電気オープン加熱により水分の流出が認められ、電子レンジ加熱ではそれよりもさら

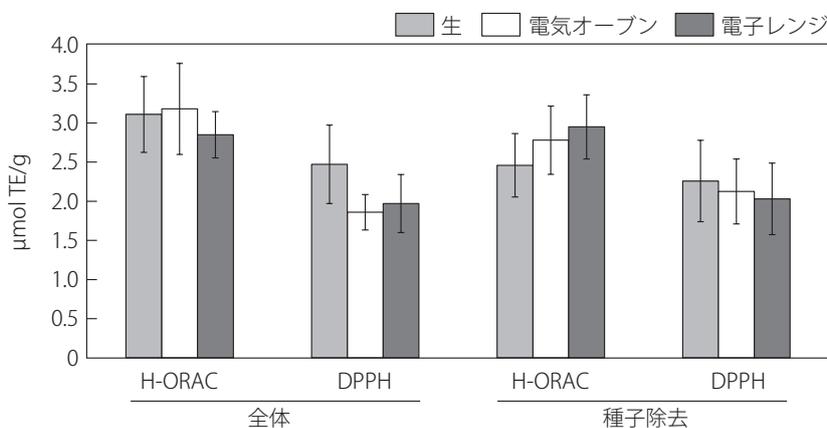


図2：あぶトマトの加熱調理が抗酸化活性に与える影響

に多い流出があった。また、たまげなすの調理では、電気オープン加熱時に多量の水分流出があったが、電子レンジ加熱では見られなかった。一方で、くりまさるの加熱調理による水分の流出はなかった。このように野菜の種類や加熱方法によって水分の流出状況は異なった。そのため、加熱調理により水分とともに抗酸化成分が流出した、又は反対に、野菜中の抗酸化成分が濃縮されたことによって有意差とは認められない程度の抗酸化能の変動があったと考えられる。今後は水分流出の影響も考慮した成分の測定系を確立する必要がある。

以上のことから、野菜の種類によって適切な加熱調理を施し、加熱時に流出した水分も捨てずに一緒に摂取できるような調理の工夫をすることで、より効率的な抗酸化物質の摂取が可能になると考えられる。

3.3 未加熱又は加熱時の各野菜の総ポリフェノール量

あぶトマトの部位を全体と種子除去に分けて加熱調理による総ポリフェノール量への影響を比較すると、全体では生と電気オープン又は電子レンジによる加熱後の総ポリフェノール量に差はなかった(図5(a))。この結果は種子除去部位にも同様に見られたことから、あぶトマトの総ポリフェノール量は2種類の加熱調理を施しても変化せず、種子除去加工の有無もこれには影響しないことが示された。

たまげなすの果肉における総ポリフェノール量は電気オープン加熱、電子レンジ加熱によって値が高くなる傾向が見られたが、生と比較して有意な差は見られなかった(一元配置分散分析、 $p = 0.06$) (図5(b))。

くりまさるの果肉については、オープンレンジで180℃、35分、電子レンジで500W、4分の条件で加熱しても総ポリフェノール量に顕著な変化は見られず、これらの2つの加熱調理によっては減少しないことが示された(図5(c))。

これらの結果より、電気オープン又は電子レンジ加熱は3種の山口県産野菜の総ポリフェノール量を減少させず、維持していることが示唆された。

3.4 各抗酸化能項目間の関連性

山口県産のあぶトマト、たまげなす、くりまさるの3種の野菜の抗酸化能に関して、H-ORACとDPPHの活性に総ポ

リフェノール含量がどの程度寄与しているかの関連と、H-ORACとDPPHの測定法間の関連を図6～8に示した。

あぶトマトにおいては、総ポリフェノール量とH-ORACの

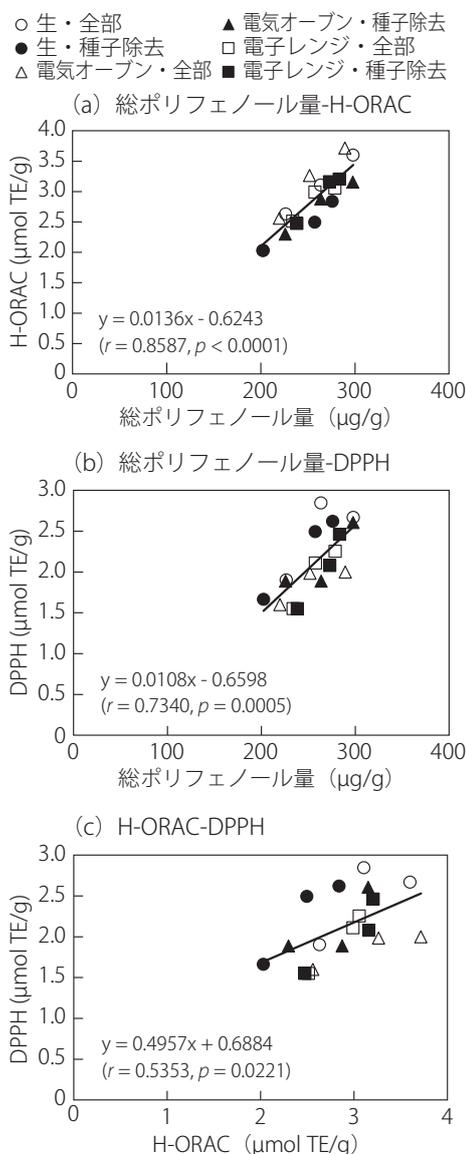


図6：あぶトマトの抗酸化能の関連性

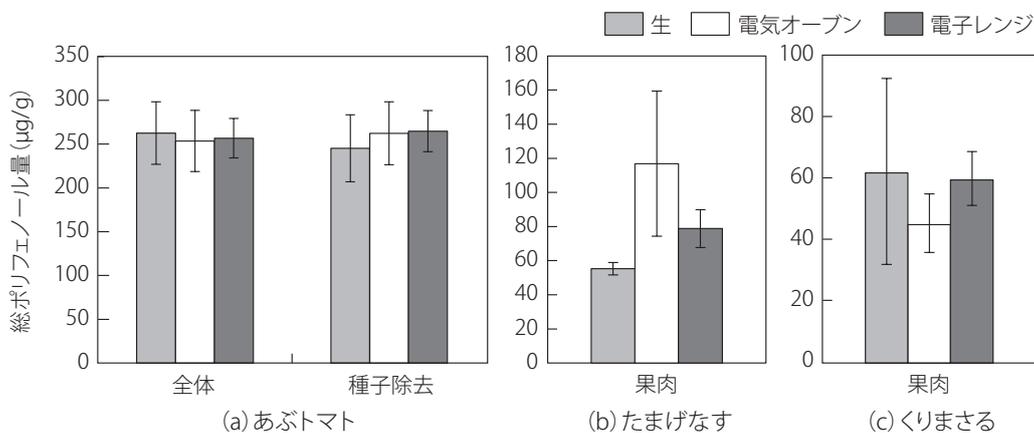


図5：山口県産野菜の加熱調理が総ポリフェノール量に与える影響

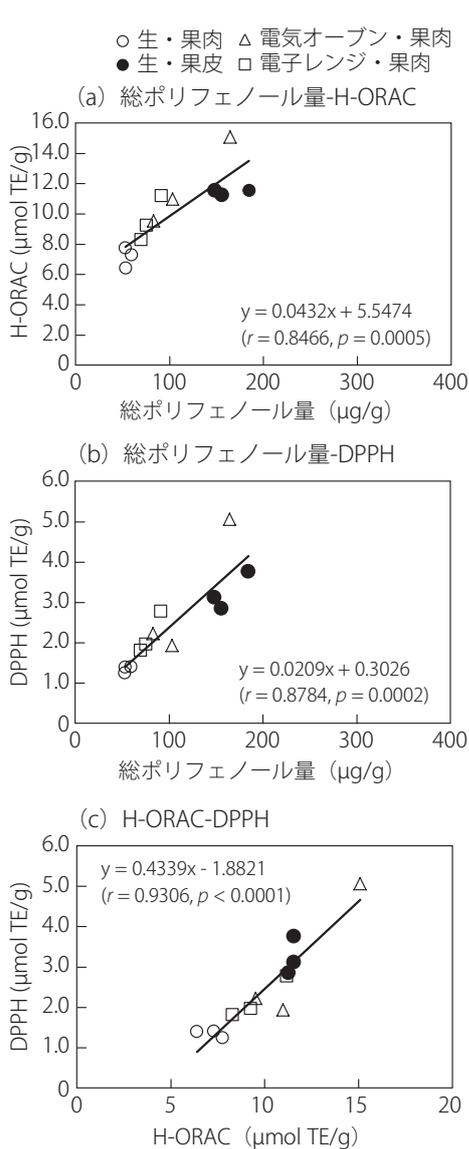


図7：たまげなすの抗酸化能の関連性

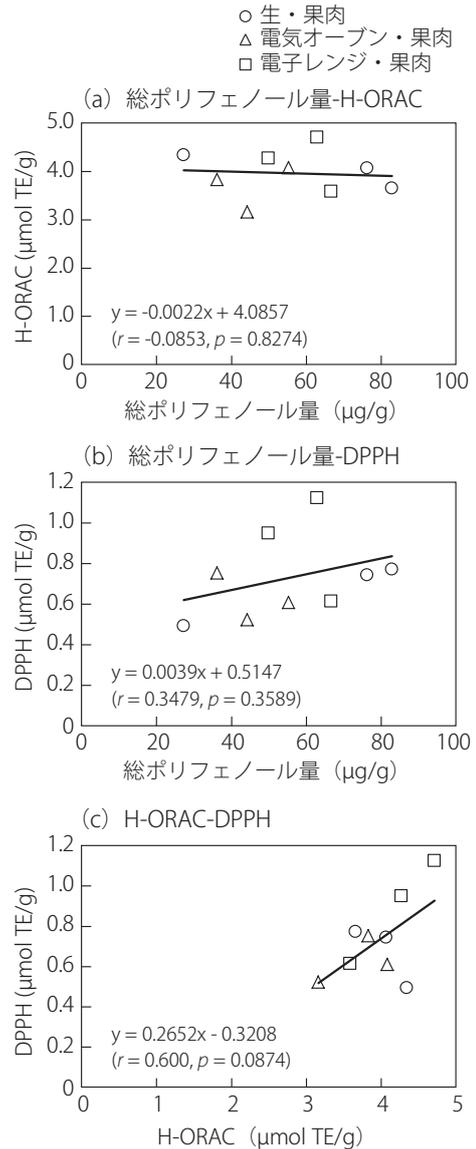


図8：くりまさるの抗酸化能の関連性

間 ($r = 0.8587, p < 0.0001$ 、図6(a))、総ポリフェノール量とDPPHの間 ($r = 0.7340, p = 0.0005$ 、図6(b))において強い正の相関がみられた。このことはあぶとマトに含まれるポリフェノールがH-ORACやDPPHの活性上昇に寄与していることを示唆した。また、あぶとマトのORAC法とDPPH法の分析法間にも正の相関が見られた ($r = 0.5353, p = 0.0221$ 、図6(c))。

たまげなすにおいては、総ポリフェノール量とH-ORACの間 ($r = 0.8466, p = 0.0005$ 、図7(a))、総ポリフェノールとDPPHの間 ($r = 0.8784, p = 0.0002$ 、図7(b))に強い正の相関関係が示された。H-ORACとDPPHの関連性についても $r = 0.9306, p < 0.0001$ と良好な正の相関関係が確認できた (図7(c))。

くりまさるにおいては、総ポリフェノール量とH-ORAC、総ポリフェノール量とDPPHの両方の組み合わせで関連性が見られなかった (図8(a)、(b))。くりまさるのH-ORACとDPPHの測定法間の関連性についても有意な関連は示されな

かった (図8(c))。

測定法間の相関では、分離成分を用いたORAC法とDPPH法の相関についての報告がなされており、これらに相関はないとされている (津志田, 2009)。一方、植物性食品においてはポリフェノール含量が多いほど抗酸化能が高く評価されるため、ORAC法とDPPH法との間に相関があるという報告もなされている (人見他, 2012)。本研究では、植物性食品の種類によって相関が見られるものとみられないものがあつた。食品によって含まれる抗酸化成分が異なることが結果より予測されたため、各々の食品に適切な評価方法を選択する必要性があると考えられる。

引用文献

- Antioxidant Unit 研究会ホームページ. <http://www.antioxidant-unit.com/>.
 Azuma, K., Ohyama, A., Ippoushi, K., Ichiyagi, T., Takeuchi, A., Saito, T., and Fukuoka, H. (2008). Structures and antioxidant

- activity of anthocyanins in many accessions of eggplant and its related species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 56, No. 21, 10154-10159.
- Bangalore, D. V., McGlynn, W., and Scott, D. D. (2005). Effect of beta-cyclodextrin in improving the correlation between lycopene concentration and ORAC values. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 53, No. 6, 1878-1883.
- Cao, G., Alessio, H. M., and Cutler, R. G. (1993). Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 14, Issue 3, 303-311.
- Gahler, S., Otto, K., and Böhm, V. (2003). Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 51, No. 27, 7962-7968.
- 橋本啓・小原澤知美・伊藤和子・阿久津智美・大山高裕・渡邊恒夫・山崎公位・角張文紀・吉成修一・荒井一好・宇田靖 (2013). ナス果菜外果皮からのナスニンを含む天然色素素材の調製. *日本食品科学工学会誌*, Vol. 60, No. 10, 589-594.
- 平田達哉 (2010). 山口県産農産物における抗酸化機能、抗アレルギー機能、脂質代謝改善機能. 山口県農林総合技術センター研究報告, No. 1, 1-10.
- 人見英里・成瀬瑞穂・若林舞 (2012). 植物性食品における抗酸化能測定法の検討. *日本家政学会第64回大会要旨集*.
- Ichiyanagi, T., Kashiwada, Y., Shida, Y., Ikeshiro, Y., Kaneyuki, T., and Konishi, T. (2005). Nasunin from eggplant consists of cis-trans isomers of delphinidin 3-[4-(p-coumaroyl)-L-rhamnosyl (1->6) glucopyranoside]-5-glucopyranoside. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 53, No. 24, 9472-9477.
- Kacjan, Marsić N., Sircelj, H., and Kastelec, D. (2010). Lipophilic antioxidants and some carpometric characteristics of fruits of ten processing tomato varieties, grown in different climatic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 58, No. 1, 390-397.
- Kananke, T., Wansapala, J., and Gunaratne, A. (2016). Detection of Ni, Cd, and Cu in green leafy vegetables collected from different cultivation areas in and around Colombo District, Sri Lanka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 187.
- 神田知子・高橋須眞子・重藤祐司・内藤雅浩・刀祢茂弘・安藤真美・足立蓉子・島田和子 (2005). 山口県伝統野菜'田屋'ナスの嗜好特性. *日本調理科学会誌*, Vol. 38, No. 5, 410-416.
- 久保田朗・山下純隆 (2000). 加熱調理が野菜抽出物の抗酸化活性に及ぼす影響. *福岡県農業総合試験場研究報告* 19, 81-84.
- Marsden, S. B. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, Vol. 181, Issue 4617, 1199-1200.
- Matsuo, M. (2002). Antioxidant activity of hydrophilic compounds of defatted soybean fermented with *Neurospora intermedia* (D-Ontjom). *Food Science and Technology Research*, Vol. 8, Issue 3, 235-238.
- 日本食品標準成分表2015年版(七訂)第2章 日本食品標準成分表PDF(日本語版). http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365419.htm. (平成29年10月8日閲覧)
- 沖智之 (2009). DPPHラジカル消去活性評価法, 「食品機能性評価マニュアル集第II集」(食品機能評価支援センター技術普及資料等検討委員会編), 食品科学工学会, 71-78.
- Ou, B., Hampsh-Woodill, M., and Prior, R. (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorption capacity assay using fluorescein as a fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 49, No. 10, 4619-4626.
- Ramírez-Anaya Jdel, P., Samaniego-Sánchez, C., Castañeda-Saucedo, M. C., Villalón-Mir, M., and de la Serrana, H. L. (2015). Phenols and the antioxidant capacity of Mediterranean vegetables prepared with extra virgin olive oil using different domestic cooking techniques. *Food Chemistry*, Vol. 188, 430-438.
- 須田郁夫・沖智之・西場洋一・増田真美・小林美緒・永井沙樹・比屋根理恵・宮重俊一 (2005). 沖縄県産果実類・野菜類のポリフェノール含量とラジカル消去活性. *日本食品科学工学会誌*, Vol. 52, No. 10, 462-471.
- 高澤 まき子・保井 明子 (2002). 産地の違いによる有機栽培トマトの成分. *日本食生活学会誌*, Vol. 13, No. 3, 163-167.
- 立山千草・五十嵐喜治 (2006). ナス果菜の栽培品種・部位別のアントシアニン量, クロロゲン酸量およびラジカル消去活性. *日本食品科学工学会誌*, Vol. 53, No. 4, 218-224.
- 津志田藤二郎 (2009). 食品機能分野における研究の進展. *食品と技術*, 3月号, 1-8. .
- USDA Database for the Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) of Selected Foods (2012), Beltsville Human Nutrition Research Center (BHNRC), Agricultural Research Service (ARS), U.S. Department of Agriculture (USDA), Release 2.
- Vallverdú-Queralt, A., Medina-Remón A., Martínez-Huélamo, M., Jáuregui, O., Andres-Lacueva, C., and Lamuela-Raventos, R. M. (2011). Phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity as chemotaxonomic markers of tomato varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 59, No. 8, 3994-4001.
- Yamaguchi, T., Oda, Y., Katsuda, M., Inakuma, T., Ishiguro, Y., Kanazawa, K., Takamura, H., and Matoba, T. (2007). Changes in radical-scavenging activity of vegetables during different thermal cooking processes. *Journal of Cookery Science of Japan*, Vol. 40, No. 3, 127-137.

(受稿：2019年2月13日 受理：2019年3月14日)